



**Universidad**  
Zaragoza

TRABAJO FIN DE GRADO

**VENTILACIÓN EN CENTROS  
UNIVERSITARIOS.**

**ESTUDIO DE LA MONITORIZACIÓN EN LOS  
EDIFICIOS DE LA EINA.**

**EFICIENCIA Y CONSUMO DE ENERGÍA**

AUTOR

JORGE RODRÍGUEZ SUESCUN

DIRECTORES

BELÉN ZALBA NONAY

ENRIQUE CANO SUÑÉN

## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, quiero dar las gracias a todas aquellas personas que han atendido mis consultas y me han facilitado información permitiéndome avanzar en mi proyecto. Entre ellos destacar el grupo de HowLab, Oficina Verde, Enrique Torres, Mantenimiento y Ferrovial y la empresa EVAIR.*

*Especial agradecimiento a mis tutores Belén y Enrique por su continua implicación y dedicación con el trabajo. Transmitiendo siempre motivación y poniendo sus conocimientos y experiencia a mi servicio con toda su honestidad.*

*A mis padres, por apoyarme en todas las decisiones que he tomado de manera incondicional.*

*A mi hermano, por ser ejemplo y mostrarme el camino a seguir.*

*A Luis, Alberto, Jorge y Javier, por permitirme disfrutar del día a día en estos años.*

*A María, por acompañarme y apoyarme siempre en estos últimos años.*

## RESUMEN

Debido a la propagación del virus SARS-CoV-2 se incrementó la necesidad de ventilar adecuadamente los espacios interiores para controlar su propagación. La mayoría de las personas pasa gran parte de su tiempo en el interior de edificios, por lo que cobra gran interés la climatización de estos, adquiriendo vital importancia las condiciones de temperatura, humedad relativa y calidad de aire interior para el bienestar de las personas.

Aunque la emergencia sanitaria ha servido para concienciar a la gente de la gran importancia que tienen en su día a día los sistemas de climatización, no sé debe desperdiciar la oportunidad creada de tender hacia espacios con una alta calidad de aire interior y sistemas de climatización más eficientes en un futuro cercano.

A través de una revisión bibliográfica, se ha tratado de examinar la normativa vigente sobre la calidad de aire interior para proporcionar los niveles mínimos de ventilación requeridos por el RITE. También se ha analizado cómo se debe actuar para reducir el riesgo de infección del virus SARS-CoV-2, así como las distintas partes que componen una instalación de climatización. Asimismo, se han estudiado distintas estrategias de ahorro energético que permiten maximizar la eficiencia de la instalación, como puede ser la recuperación de calor o el freecooling.

En la segunda parte del trabajo, se han puesto en práctica los conocimientos adquiridos anteriormente. Para ello, en primer lugar se ha realizado un estudio de la monitorización de la climatización en el edificio Agustín Betancourt, en el cual se han analizado las distintas tipologías de aulas y la instalación de climatización actual. Al mismo tiempo se han colocado distintos tipos de sensores de CO<sub>2</sub> en los lugares más desfavorables de las aulas. También se ha establecido un procedimiento de revisión para estos equipos de manera que se asegure su correcto funcionamiento en el tiempo. Por último se aconseja que equipos de medida de CO<sub>2</sub> son más adecuados para monitorizar las condiciones ambientales de las aulas.

Por otro lado, se ha estimado la carga térmica demandada debida a ventilación en un aula. Con ello se pretende concienciar de la importancia de ventilar únicamente a través del sistema de ventilación mecánica y aprender como varía dicha demanda en función de las condiciones interiores y exteriores del aula. Además, se ha cuantificado la importancia de los recuperadores de calor para disminuir la carga térmica demandada y tender hacia sistemas más eficientes.

Por último, en base a los resultados arrojados por una siembra de CO<sub>2</sub> que se realizó en las distintas aulas del edificio Agustín Betancourt, se llega a la conclusión de que el caudal aportado desde la UTA de las aulas es insuficiente para cumplir con los requisitos mínimo establecidos por el RITE. Para solventar este problema se solicitó ayuda a la empresa aragonesa EVAIR, los cuales propusieron una rehabilitación de dicha UTA. Se ha llevado a cabo un estudio técnico y económico para analizar la viabilidad de dicha inversión.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>2</b>
<b>LISTADO DE TABLAS</b> .....	<b>5</b>
<b>LISTADO DE ILUSTRACIONES</b> .....	<b>9</b>
<b>LISTADO DE ECUACIONES</b> .....	<b>10</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b> .....	<b>11</b>
<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>12</b>
<b>1. Técnica sobre Ventilación</b> .....	<b>12</b>
1.1 Introducción .....	12
1.2 Calidad de aire interior .....	12
1.3 Estrategias de reducción de riesgo de infección de virus SARS-CoV-2 por vía aérea .....	14
1.3 Equipos del sistema de climatización .....	15
1.4 Generalidades de la ventilación en centros universitarios .....	18
<b>2 Eficiencia energética</b> .....	<b>19</b>
2.1 Introducción .....	19
2.2 Consumo energético .....	19
2.3 Eficiencia en ventilación .....	22
<b>CASOS PRÁCTICOS</b> .....	<b>23</b>
<b>3. Monitorización de la climatización en función del CO<sub>2</sub></b> .....	<b>23</b>
3.1 Introducción .....	23
3.2 Instalación de climatización actual .....	24
3.3 Equipos de medida de CO <sub>2</sub> .....	24
3.4 Lugar adecuado para instalar el equipo de medida de CO <sub>2</sub> .....	26
3.5 Revisión de los equipos de medida .....	26
3.6 Panorama actual .....	28
<b>4. Estimación de la carga térmica demandada debido a ventilación</b> .....	<b>30</b>
4.1 Introducción .....	30
4.2 Estudio .....	30
4.3 Resultados .....	31
4.4 Aplicación de los recuperadores de calor .....	34
4.5 Conclusiones .....	37
<b>5. Viabilidad técnica y económica de la rehabilitación de la UTA de las aulas</b> .....	<b>38</b>
5.1 Introducción .....	38
5.2 Simulación de la instalación actual .....	38
5.3 Simulación de la instalación propuesta por EVAIR .....	39
5.4 Viabilidad económica de la propuesta de mejora .....	40
5.5 Conclusiones .....	45
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	<b>46</b>

<b>LINEAS DE FUTURO .....</b>	<b>48</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>53</b>
ANEXO I. Origen de los contaminantes en los espacios interiores. ....	53
ANEXO II. Normativa de calidad de aire interior (IAQ). Ventilación. ....	55
ANEXO III. Estado del arte sobre transmisión del virus SARS-CoV-2 por vía aérea.....	57
ANEXO IV. Equipos de un sistema de climatización. ....	59
ANEXO V. Análisis de los equipos de climatización en el Edificio Agustín Betancourt. ....	66
ANEXO VI. Ubicación de los equipos de medida .....	78
ANEXO VII. Ubicación de los equipos de medida (Javier Baselga Casas) .....	80
ANEXO VIII. Criterio de revisión de los equipos instalados .....	84
ANEXO IX. Criterio de revisión de los equipos instalados (Javier Baselga Casas) .....	89
ANEXO X. Revisión de los equipos instalados en las aulas.....	96
ANEXO XI. Revisión de los equipos instalados en las aulas. (Javier Baselga Casas) .....	118
ANEXO XII. Estimación de la demanda térmica debida a climatización.....	156
ANEXO XIII. Hoja Excel donde se registran todos los equipos de medida de CO <sub>2</sub> instalados en el campus de la EINA.....	171
ANEXO XIV. Hoja Excel donde se registran todas las incidencias de los equipos de medida de CO <sub>2</sub> instalados en el campus de la EINA.....	173
ANEXO XV. Simulación de la UTA de las aulas instalada en el edificio Agustín Betancourt.....	175
ANEXO XVI. Simulación de la propuesta de mejora de la UTA por EVAIR.....	183
ANEXO XVII. Cuantificación económica de las pérdidas de energía eléctrica al ventilar de forma natural.....	191
ANEXO XVIII. Presupuesto del proyecto de rehabilitación de la UTA de las aulas del edificio Agustín Betancourt propuesto por EVAIR.....	202

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Caudales de aire exterior mínimos dependiendo del uso de acuerdo al RITE 2013. Fuente: DTIE 2.07.....	14
Tabla 2. Consumo de energía final en España. Fuente: MITECO.....	20
Tabla 3: Consumo de energía final por sectores, 1990-2018. Fuente: IDAE.....	21
Tabla 4. Reparto del consumo eléctrico doméstico en España. Fuente: IDAE.....	21
Tabla 5. Distribución del consumo de energía final en el sector servicios. Fuente:IDAE. ....	22
Tabla 6. Climatización de las aulas del edificio Betancourt. Elaboración propia.....	24
Tabla 7.Criterio de revisión establecido. Elaboración propia .....	27
Tabla 8. Comparación global de los sensores instalados. Elaboración propia. ....	27
Tabla 9. Funcionamiento del equipo según el tipo de sensor usado. Elaboración propia. ....	28
Tabla 10. Resultados para las condiciones de verano con aforo-covid. Elaboración propia. ....	31
Tabla 11. Resultados para las condiciones de verano con aforo-normal. Elaboración propia. ....	31
Tabla 12. Resultados para las condiciones de verano con aforo-máximo. Elaboración propia. ....	31
Tabla 13. Resultados para las condiciones de invierno con aforo-covid. Elaboración propia. ....	32
Tabla 14.Resultados para las condiciones de invierno con aforo-normal. Elaboración propia. ....	32
Tabla 15. Resultados para las condiciones de invierno con aforo-máximo. Elaboración propia.....	32
Tabla 16. Rangos en los que se mueve la carga de ventilación en condiciones de verano. Elaboración propia. ....	32
Tabla 17. Carga térmica demanda debido a ventilación para las condiciones de verano. Elaboración propia. ....	33
Tabla 18. Variación que sufre la carga de ventilación por cada grado que se incrementa la Tª exterior en condiciones de verano. Elaboración propia. ....	33
Tabla 19. Variación que sufre la carga de ventilación con la temperatura en condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	33
Tabla 20. Rangos en los que se mueve la carga de ventilación en condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	33
Tabla 21. Carga térmica demanda debido a ventilación para las condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	34
Tabla 22. Nueva temperatura del aire exterior en condiciones de verano. Elaboración propia. ....	35
Tabla 23. Tabla resumen de la carga térmica de ventilación en verano. Elaboración propia.....	36
Tabla 24. Variación de la carga térmica (W/m2) en condiciones de verano. Elaboración propia.....	36
Tabla 25. Nueva temperatura del aire exterior en condiciones de invierno. Elaboración propia.....	36
Tabla 26. Tabla resumen de la carga térmica de ventilación en invierno. Elaboración propia. ....	36
Tabla 27. Variación de la carga térmica (W/m2) en condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	37
Tabla 28. Resumen de las estimaciones realizadas en las aulas. Fuente: TFG Javier Baselga. ....	38
Tabla 29. Resumen de las características de la UTA de las aulas actual. Fuente: EVAIR. ....	39
Tabla 30. Estimación del caudal de aire exterior total. Fuente: elaboración propia. ....	39
Tabla 31. Resumen de las características de la UTA propuesta por EVAIR. Fuente: EVAIR. ....	39
Tabla 32. Caudal teórico necesario del aula en función del aforo. Elaboración propia.....	40
Tabla 33. Potencia térmica pérdida en condiciones de verano en función del aforo. Elaboración propia. 41	
Tabla 34. Potencia térmica entre superficie pérdida en condiciones de verano en el aula 0.01. Elaboración propia. ....	41
Tabla 35. Potencia térmica entre superficie pérdida en condiciones de verano en el aula 0.01. Elaboración propia. ....	41
Tabla 36. Potencia térmica pérdida en condiciones de invierno en función del aforo en el aula 0.01. Elaboración propia. ....	41
Tabla 37. Potencia térmica entre superficie del aula que se pierde en condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	42
Tabla 38. Potencia térmica entre superficie pérdida en condiciones de invierno en el aula 0.01. Elaboración propia. ....	42

Tabla 39. Potencia eléctrica a partir del COP de la bomba de calor en modo calefacción. Elaboración propia. ....	42
Tabla 40. Potencia eléctrica a partir del COP de la bomba de calor en modo refrigeración. Elaboración propia. ....	42
Tabla 41. Coeficientes de extrapolación según la tipología del aula. Elaboración propia. ....	43
Tabla 42. Energía eléctrica total consumida por las aulas del edificio Agustín Betancourt. Elaboración propia. ....	43
Tabla 43. Coste económico de la energía pérdida para un precio variable. Elaboración propia. ....	44
Tabla 44. Flujos de caja del escenario 1. Elaboración propia. ....	44
Tabla 45. Flujos de caja del escenario 2. Elaboración propia. ....	44
Tabla 46. Flujo de caja del escenario 3. Elaboración propia. ....	45
Tabla 47. Valores guía para "contaminantes clásicos" en el aire. Fuente: OMS. ....	53
Tabla 48: Valores límite en la concentración de CO2. Fuente: Guía de referencia COVID. Ingenieros Industriales Aragón y La Rioja. ....	54
Tabla 49. Caudales mínimos exigidos por el RITE. Fuente: DTIE 2.07. ....	55
Tabla 50. Caudales de aire exterior mínimos dependiendo del uso de acuerdo al RITE 2013. Fuente: DTIE 2.07. ....	56
Tabla 51. Normativa sobre eficiencia en recuperadores de calor. Fuente: RITE. ....	61
Tabla 52: UTA para la zona de aulas. ....	67
Tabla 53. UTA para la biblioteca y sala de estudios. ....	67
Tabla 54. UTA para la cafetería. ....	67
Tabla 55. UTA para el salón de actos. ....	67
Tabla 56. Fan coil TIPO 1. ....	68
Tabla 57. Fan coil TIPO 6. ....	68
Tabla 58. Fan coil TIPO 7. ....	68
Tabla 59. Fan coil TIPO 8. ....	68
Tabla 60. Resumen de la instalación de climatización en el Betancourt. Elaboración propia. ....	77
Tabla 61. Descripción de la posición de los equipos de medida. Elaboración propia. ....	78
Tabla 62. Medidas realizadas en el aula. Elaboración propia. ....	79
Tabla 63. Diferencias positivas y negativas de las medidas realizadas. Elaboración propia. ....	84
Tabla 64. Dispersión de las diferencias negativas. Elaboración propia. ....	85
Tabla 65. Dispersión de las diferencias positivas. Elaboración propia. ....	86
Tabla 66. Dispersión de todas diferencias de CO2. Elaboración propia. ....	87
Tabla 67. Diagrama de barras de las distintas diferencias de CO2. Elaboración propia. ....	87
Tabla 68. Comparación global funcionamiento de los sensores. Elaboración propia. ....	115
Tabla 69. Funcionamiento de los sensores MH-Z16. Elaboración propia. ....	116
Tabla 70. Funcionamiento de los sensores MH-Z19b. Elaboración propia. ....	116
Tabla 71. Resultados para las condiciones de verano con aforo-covid. Elaboración propia. ....	159
Tabla 72. Carga térmica en función de la humedad relativa interior. Elaboración propia. ....	159
Tabla 73. Carga térmica en función de la temperatura exterior. Elaboración propia. ....	159
Tabla 74. Resultados para las condiciones de invierno con aforo-covid. Elaboración propia. ....	160
Tabla 75. Carga térmica en función de la temperatura exterior en condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	160
Tabla 76. Resultados para las condiciones de verano con aforo-normal. Elaboración propia. ....	160
Tabla 77. Carga térmica en función de la humedad relativa interior. Elaboración propia. ....	161
Tabla 78. Carga térmica en función de la temperatura exterior. Elaboración propia. ....	161
Tabla 79. Resultados para las condiciones de invierno con aforo-normal. Elaboración propia. ....	161
Tabla 80. Carga térmica en función de la temperatura exterior en condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	162
Tabla 81. Resultados para las condiciones de verano con aforo-máximo. Elaboración propia. ....	162
Tabla 82. Carga térmica en función de la humedad relativa interior. Elaboración propia. ....	163
Tabla 83. Carga térmica en función de la temperatura exterior. Elaboración propia. ....	163
Tabla 84. Resultados para las condiciones de invierno con aforo-máximo. Elaboración propia. ....	163

Tabla 85. Carga térmica en función de la temperatura exterior en condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	164
Tabla 86. Rangos en los que se mueve la carga de ventilación en condiciones de verano. Elaboración propia. ....	164
Tabla 87. Variación que sufre la carga de ventilación por cada grado que se incrementa la Tª exterior en condiciones de verano. Elaboración propia. ....	164
Tabla 88. Variación de la carga de ventilación con la humedad relativa interior en condiciones de verano. Elaboración propia. ....	165
Tabla 89. Variación que sufre la carga de ventilación con la temperatura en condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	165
Tabla 90. Rangos en los que se mueve la carga de ventilación en condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	165
Tabla 91. Rango de la carga de ventilación con recuperador de calor en condiciones de verano. Elaboración propia. ....	168
Tabla 92. Rangos de la carga de ventilación con recuperador de calor en condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	169
Tabla 93. Tabla resumen de la carga térmica de ventilación en verano. Elaboración propia. ....	170
Tabla 94. Variación de la carga térmica (W/m <sup>2</sup> ) en condiciones de verano. Elaboración propia. ....	170
Tabla 95. Tabla resumen de la carga térmica de ventilación en invierno. Elaboración propia. ....	170
Tabla 96. Variación de la carga térmica (W/m <sup>2</sup> ) en condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	170
Tabla 97. Caudal teórico necesario del aula en función del aforo. Elaboración propia. ....	191
Tabla 98. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas en condiciones de verano. Elaboración propia. ....	192
Tabla 99. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas para un aforo-covid condiciones de verano. Elaboración propia. ....	192
Tabla 100. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas en condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	193
Tabla 101. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas para un aforo-covid condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	193
Tabla 102. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas en condiciones de verano. Elaboración propia. ....	193
Tabla 103. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas para un aforo normal condiciones de verano. Elaboración propia. ....	194
Tabla 104. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas en condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	194
Tabla 105. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas para un aforo normal condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	194
Tabla 106. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas en condiciones de verano. Elaboración propia. ....	194
Tabla 107. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas para un aforo máximo condiciones de verano. Elaboración propia. ....	195
Tabla 108. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas en condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	195
Tabla 109. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas para un aforo máximo condiciones de invierno. Elaboración propia. ....	195
Tabla 110. Potencia térmica pérdida en condiciones de verano en función del aforo. Elaboración propia. ....	196
Tabla 111. Potencia térmica entre superficie del aula que se pierde en condiciones de verano. Elaboración propia. ....	196
Tabla 112. Potencia térmica entre superficie pérdida en condiciones de verano en el aula 0.01. Elaboración propia. ....	196
Tabla 113. Potencia térmica pérdida en condiciones de invierno en función del aforo. Elaboración propia. ....	196

<i>Tabla 114. Potencia térmica entre superficie del aula que se pierde en condiciones de invierno. Elaboración propia.</i>	196
<i>Tabla 115. Potencia térmica entre superficie pérdida en condiciones de invierno en el aula 0.01. Elaboración propia.</i>	197
<i>Tabla 116. Comparativa de rendimiento nominal para distintas aplicaciones en equipos aire/agua. Fuente: TFG Santiago Palos.</i>	198
<i>Tabla 117. Potencia eléctrica a partir del COP de la bomba de calor en modo calefacción. Elaboración propia.</i>	198
<i>Tabla 118. Potencia eléctrica a partir del COP de la bomba de calor en modo refrigeración. Elaboración propia.</i>	199
<i>Tabla 119. Coeficientes de extrapolación según la tipología del aula. Elaboración propia.</i>	200
<i>Tabla 120. Energía eléctrica total consumida por las aulas del edificio Agustín Betancourt. Elaboración propia.</i>	200
<i>Tabla 121. Precio de la energía eléctrica. Elaboración propia.</i>	201
<i>Tabla 122. Coste económico de la energía pérdida para un precio variable. Elaboración propia.</i>	201

## LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Diagrama de un edificio que muestra diversas fuentes de contaminantes de interior y de exterior. Fuente: INSST. Capítulo 44: Calidad del aire interior.....	13
Ilustración 2. Esquema de la configuración de una UTA. Fuente: Airtècnics.....	16
Ilustración 3. Fan coils tipo casete. Fuente: Systemair.....	17
Ilustración 4. Desglose del consumo de energía final en España 2018. Fuente: MITECO.....	21
Ilustración 5. Sensor MH-Z16 a la derecha. Sensor MH-Z19b izquierda. Elaboración propia.....	24
Ilustración 6. Sensores Aranet4 Pro y su base. Fuente: Aranet.....	25
Ilustración 7. Equipos de medida desinstalados. Fuente: elaboración propia.....	29
Ilustración 8. Formas de transmisión del virus SARS CoV 2. Fuente: José-Luis Jiménez.....	58
Ilustración 9. En la izquierda una UTA modular, en la derecha UTA compacta. Fuente: Trox y Carrier.....	59
Ilustración 10. Esquema de la configuración de una UTA. Fuente: Airtècnics.....	60
Ilustración 11. Recuperador de placas de flujo cruzado. Fuente: WOLF.....	62
Ilustración 12. Recuperador de placas a contracorriente. Fuente: WOLF.....	62
Ilustración 13. Recuperador de calor rotativo. Fuente: WOLF.....	63
Ilustración 14. Fan coils tipo casete. Fuente: Systemair.....	64
Ilustración 15. Esquema de la inducción en difusores. Fuente: Nergiza.....	65
Ilustración 16. Difusor tipo 1- DQJ-SR-600.....	69
Ilustración 17. Difusor tipo 4- DQJ-SQ 400.....	69
Ilustración 18. Difusor tipo 4- DQJ-SQ 500.....	69
Ilustración 19. Difusor tipo 5- DQJ-SQ 600.....	69
Ilustración 20. Aula Tipo 1.....	70
Ilustración 21. Climatizador aula tipo 1.....	70
Ilustración 22. Difusor rotacional aula tipo 1.....	70
Ilustración 23. Reja de retorno aula tipo 1.....	70
Ilustración 24. Aula tipo 2.....	71
Ilustración 25. Climatizador aula tipo 2.....	71
Ilustración 26. Difusor rotacional aula tipo 2.....	71
Ilustración 27. Reja de retorno aula tipo 2.....	71
Ilustración 28. Aula 1.10.....	72
Ilustración 29. Climatizador aula 1.10.....	72
Ilustración 30. Fan coil aula 1.10.....	72
Ilustración 31. Difusores aula 1.10.....	72
Ilustración 32. Reja de retorno aula 1.10.....	72
Ilustración 33. Aula 1.11.....	73
Ilustración 34. Climatizador aula 1.11.....	73
Ilustración 35. Difusor aula 1.11.....	73
Ilustración 36. Reja de retorno aula 1.11.....	73
Ilustración 37. Biblioteca.....	74
Ilustración 38. Toberas biblioteca.....	74
Ilustración 39. Difusor biblioteca.....	74
Ilustración 40. Reja de retorno biblioteca.....	74
Ilustración 41. Sala de estudios Tomás Pollán.....	75
Ilustración 42. Difusor rotacional en sala de estudios.....	75
Ilustración 43. Reja de retorno en sala de estudios.....	75
Ilustración 44. Pasillo planta 1 y 2.....	76
Ilustración 45. Reja de extracción P1/P2.....	76
Ilustración 46. Aula tipo 3.....	77
Ilustración 47. Climatizador aula tipo 3.....	77
Ilustración 48. Difusor rotacional aula tipo 3.....	77
Ilustración 49. Reja de retorno aula tipo 3.....	77
Ilustración 50. Esquema disposición de los equipos. Elaboración propia.....	78

Ilustración 51. Sensor MH-Z16 a la derecha. Sensor MH-Z19b izquierda.....	96
Ilustración 52. Aranet 4 Pro y base Aranet Pro.....	97
Ilustración 53. Aula tipo 1. Fuente: Anexo 3.....	158

## LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de la demanda debida a ventilación.....	30
Ecuación 2. Eficiencia de un recuperador de calor. Fuente: DTIE 8.01 Recuperación de energía en sistemas de climatización.....	35
Ecuación 3. Energía total pérdida en el aula 0.01. Elaboración propia.....	43
Ecuación 4. Cálculo de la demanda debida a ventilación. Fuente: Libro de Fundamentos de Climatización.....	156
Ecuación 5. Caudal volumétrico de un aula o espacio. Fuente: RITE.....	156
Ecuación 6. Variación de entalpía. Fuente: Libro de Fundamentos de Climatización.....	157
Ecuación 7. Entalpía debido al calor latente. Fuente: Libro de Fundamentos de Climatización.....	157
Ecuación 8. Entalpía debida al calor sensible. Fuente: Libro de Fundamentos de Climatización.....	157
Ecuación 9. Cálculo de la humedad absoluta. Fuente: Libro de Fundamentos de Climatización.....	157
Ecuación 10. Eficiencia de un recuperador de calor. Fuente: DTIE 8.01 Recuperación de energía en sistemas de climatización.....	166
Ecuación 11. Cálculo de la demanda térmica debida a ventilación.....	192
Ecuación 12. Coeficiente de operatividad. Fuente: Libro de fundamentos de climatización.....	197
Ecuación 13. Coeficiente de operación en modo invierno.....	198
Ecuación 14. Coeficiente de operación en modo verano.....	199
Ecuación 15. Energía total pérdida en el aula 0.01. Elaboración propia.....	200

## *GLOSARIO DE TÉRMINOS*

RITE	<i>Reglamento de Instalaciones Térmicas en edificios</i>
IAQ	<i>Indoor Air Quality (Calidad de aire interior)</i>
HVAC	<i>Heating - Ventilation – Air conditioning (Calefacción, ventilación y aire acondicionado)</i>
RICCACS	<i>Reglamento de Instalaciones de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria</i>
UNE	<i>Una Normal Española</i>
RD	<i>Real Decreto</i>
OMS	<i>Organización Mundial de la Salud</i>
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>
DTIE	<i>Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación</i>
UTA	<i>Unidad de Tratamiento de Aire</i>
ITIC	<i>Reglamento e Instrucciones Técnicas en Instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente</i>
ATECYR	<i>Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración</i>
AND	<i>Autoridad Nacional Designada</i>
UE	<i>Unión Europea</i>
IDAE	<i>Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía</i>
LORA	<i>Long Range</i>
NDIR	<i>Non Dispersive Infrared Detector</i>
ENAC	<i>Entidad Nacional de Acreditación</i>
COP	<i>Coeficiente de Operación</i>
IVA	<i>Impuesto Valor Añadido</i>
ACH	<i>Air Changes per Hour (Tasa de renovaciones de aire por hora)</i>

# REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 1. Técnica sobre Ventilación

### 1.1 Introducción

Un sistema de ventilación se puede definir como el conjunto de elementos que permiten ventilar un recinto cerrado. Con la ventilación se consigue renovar el aire viciado del interior de un local por aire limpio. La circulación del aire se consigue gracias a un gradiente de presiones. Se pueden diferenciar entre dos tipos de sistema de ventilación. Por un lado, la ventilación natural es aquella se consigue mediante la abertura del espacio interior al exterior (puertas, ventanas,...), permitiendo el intercambio de corrientes del aire exterior con el aire interior de dicho espacio. Por otro lado, la ventilación mecánica se produce por la acción de un ventilador encargado de introducir y expulsar este aire, permitiendo obtener una renovación de aire prefijada y una mayor calidad en comparación con la natural [1]

La ventilación mecánica nos permite cumplir los valores de caudal fijados por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE). Es cierto que conlleva un gasto inicial y energético para su funcionamiento, pero a partir de estos sistemas mecánicos se está asegurando la adecuada renovación de aire. Otra de las ventajas que presentan estos sistemas es la posibilidad de filtrar y tratar térmicamente el aire que se introduce, permitiendo obtener unas mejores condiciones de confort en el interior del espacio. Todo esto supone un ahorro energético gracias a regular el caudal de aire que entra en función de la demanda y a la posibilidad de recuperar energía. Además la utilización de estos sistemas posibilita el cierre de ventanas o puertas, reduciendo los ruidos que pueden provenir del exterior.

Con la ventilación natural se puede ventilar un espacio sin necesidad de realizar una inversión inicial. Sin embargo, este método depende de las condiciones exteriores proporcionando un caudal de aire exterior variable y como resultado, raramente se podrán cumplir los caudales mínimos de aire exterior de ventilación fijados por el RITE. También se debe tener en cuenta que el aire exterior se introduce sin un previo filtrado y tratamiento térmico, pudiendo ocasionar un disconfort térmico y contaminando el ambiente del espacio interior.

En este contexto de intentar mantener una calidad ambiental en espacios interiores en términos de salud y bienestar de sus ocupantes, aparece el término de calidad del aire interior (IAQ).

### 1.2 Calidad de aire interior

El aire interior es la vía principal de exposición a contaminantes presentes en el aire dado que las personas pasan la mayoría de su tiempo en espacios cerrados. Es importante que la calidad de aire interior (IAQ) se considere en el diseño, construcción, puesta en marcha, funcionamiento y mantenimiento de los edificios y de los sistemas de climatización (HVAC). [2]

El término de calidad de aire interior se aplica a ambientes de interior no industriales: edificios de oficinas, edificios públicos (colegios, hospitales, teatros, restaurantes, etc.) y viviendas particulares. En estos edificios puede haber millares de sustancias químicas en el aire, pero en concentraciones muy bajas. El efecto conjunto de estos contaminantes, junto con la temperatura y la humedad, pueden producir un aire de mala calidad. [3]

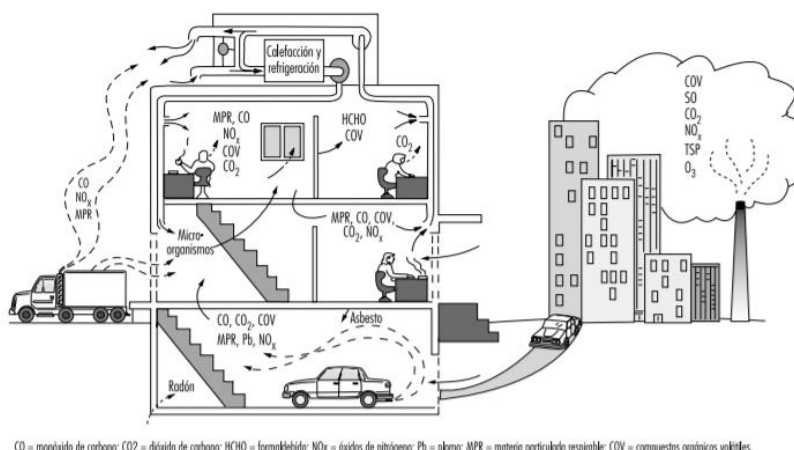
Existe un punto de vista que considera a las personas como única fuente de contaminación del aire interior, pero con los materiales modernos la situación ha cambiado. Todos los materiales generan contaminación y juntos contribuyen al deterioro de la calidad del aire interior. [3]

En los últimos años se ha relacionado el término “síndrome del edificio enfermo” con aquellos espacios que tienen una baja calidad de aire interior, englobando distintos síntomas o enfermedades que las personas que ocupan dicho edificio atribuyen al edificio en sí. [4]

La calidad del aire interior es esencial para la salud, confort, bienestar, productividad y capacidad de aprendizaje de las personas. La mejora de la IAQ aporta sustanciales beneficios saludables y económicos. [2]

Los contaminantes del aire interior de un edificio tienen su origen en fuentes interiores o exteriores, su procedencia se estudia más en detalle en el **anexo I**. El aire que se introduce en el interior de un edificio mediante los sistemas de ventilación mecánica es una mezcla de aire exterior que se introduce continuamente y aire interior que se recircula. Este aire es filtrado pero la eliminación de contaminantes no es completa. Además, el aire exterior también se introduce en el interior cuando se hace uso de la ventilación natural o a través de fugas en la superficie envolvente del edificio. [4]

La calidad del aire interior en un edificio depende de una serie de variables, como la calidad del aire del exterior, el diseño del sistema de ventilación y acondicionamiento del aire, las condiciones en que opera y se mantienen este sistema, la división en compartimentos del edificio y las fuentes interiores de contaminantes y su magnitud. [3]



CO = monóxido de carbono; CO<sub>2</sub> = dióxido de carbono; HCHO = formaldehído; NO<sub>x</sub> = óxidos de nitrógeno; Pb = plomo; MP = materia particulada respirable; COV = compuestos orgánicos volátiles.

Ilustración 1. Diagrama de un edificio que muestra diversas fuentes de contaminantes de interior y de exterior.  
Fuente: INSST. Capítulo 44: Calidad del aire interior.

El enfoque principal para mejorar la IAQ es el control de fuentes tanto interiores como exteriores. Además de ello, la ventilación se utiliza para diluir los contaminantes en espacios interiores mediante aire exterior limpio. El aumento de las tasas de ventilación mejora la salud. La ventilación para mejorar la IAQ debería también incluir la reducción de la entrada de contaminantes desde el exterior en medioambientes con contaminación atmosférica. [2]

Las causas de una ventilación inadecuada pueden ser varias: entrada insuficiente de aire fresco debido a un nivel alto de recirculación del aire o a un bajo volumen de entrada; colocación y orientación incorrectas de los puntos de entrada del aire exterior al edificio; distribución deficiente; filtración incorrecta del aire de entrada; diferencias de presión no previstas que originan corrientes de aire. [3]

La normativa española en cuanto a la calidad de aire interior en los edificios ha variado mucho en sus diferentes reglamentaciones. Esta evolución puede seguirse detalladamente en el **anexo II**.

Cabe destacar que hasta el año 2007, la ventilación mecánica en los edificios no fue obligatoria. Esto supuso un gran avance para determinar los caudales mínimos de ventilación

En 2013 el RITE aprobaba el RD 238/2013 de 5 de abril, en el cual, la inspección de la calidad del aire interior de los edificios, exceptuando las viviendas individuales, adquiere un carácter obligatorio.

El contaminante más común utilizado para el control de los sistemas de ventilación, es el de la concentración de CO<sub>2</sub> sobre la del aire exterior, buen indicador de la ocupación real de las personas en una zona cuando no se permite fumar o no existe otro contaminante. [5]

La ventilación de un edificio se medía en el pasado en renovaciones por hora. Sin embargo, actualmente este parámetro se calcula en función del número de personas que ocupan un espacio, de manera que se asegura una alimentación de aire exterior mínimo por persona y hora. De esta forma se obtiene una mayor calidad de aire interior.

El RITE establece cuatro categorías de calidad del aire interior en función del uso de los edificios.

CATEGORIA DE LA CALIDAD DEL AIRE	METODO DETERMINACIÓN CAUDALES		
	INDIRECTO		DIRECTO
	CAUDAL AIRE DE VENTILACIÓN		CO2 (ppm)
	l/(s persona)	m3/(h persona)	Sobre aire exterior
IDA 1 (OPTIMO)	20,0	72,0	350
IDA 2 (BUENO)	12,5	45,0	500
IDA 3 (MEDIO)	8,0	28,8	800
IDA 4 (BAJO)	5,0	18,0	1.200
IDA 1: Hospitales, Clínicas, Laboratorios y Guarderías.			
IDA 2: Oficinas, Residencias, Salas de lectura, Museos, Salas de Tribunales, Aulas de Enseñanza y asimilables, y piscinas.			
IDA 3: Edificios comerciales, Teatros, Cines, Salones de Actos, Habitaciones de Hoteles y similares, Restaurantes, Cafeterías, Bares, Salas de Fiestas, Gimnasios, Locales para Deportes y salas de ordenadores			
IDA 4: NO SE DEBE APLICAR EN EDIFICIOS DE USO HABITUAL			

Tabla 1. Caudales de aire exterior mínimos dependiendo del uso de acuerdo al RITE 2013. Fuente: DTIE 2.07.

En lo que respecta al sector educativo, en España se aplica la normativa establecida por el RITE de 2013 donde a las aulas de enseñanza se les exige una categoría de calidad de aire interior IDA 2.

### 1.3 Estrategias de reducción de riesgo de infección de virus SARS-CoV-2 por vía aérea

El coronavirus SARS-CoV-2 es un nuevo tipo de coronavirus que puede afectar a las personas y que se detectó por primera vez en diciembre de 2019 en la ciudad de Wuhan, China. Mayoritariamente, en un 80% de los casos solo produce síntomas leves respiratorios. [10]

El virus puede propagarse de distintas maneras como puede verse en el **Anexo III**. Una de estas formas son los bioaerosoles, los cuales guardan una relación directa con el control de IAQ.

El control de la propagación de bioaerosoles en ambientes interiores permite mantener un reducido riesgo en la propagación del virus SARS-CoV-2 por vía aérea. Las posibles estrategias para el control de bioaerosoles que contribuyen a reducir el riesgo de infección por vía aérea son:

- Control de fuentes de bioaerosoles: medidas como el uso obligatorio de mascarilla en interiores o un control exhaustivo de aforos.
- Dilución de bioaerosoles:
  - Aumentar las tasas de ventilación con equipos de ventilación mecánica.
  - Aumentar tasas de ventilación natural mediante apertura de puertas y/o ventanas.
- Retención de bioaerosoles: uso de elementos de filtración con elevada eficacia de filtración en el rango de partículas típico de los núcleos de gota.
- Control de transporte de bioaerosoles.

El principal factor que ayuda a reducir el riesgo de propagación del SARS-CoV-2 en el interior de los edificios, es la dilución mediante ventilación de la concentración de partículas y aerosoles que pudieran propagarlo.

Bien operada la climatización es una herramienta para hacer frente a la propagación del virus; proporciona aire exterior, lo filtra y mantiene la temperatura y humedad. Si el edificio en origen no dispone de sistemas de ventilación mecánica, es recomendable la apertura de ventanas accesibles. [13]

Conviene destacar que la utilidad de la filtración es mejorar la calidad del aire exterior antes de introducirlo a los edificios. Además, la norma UNE 16798 establece que la filtración en unidades con recirculación se tratará tanto el aire exterior como el aire interior recirculado. Desde el punto de vista de tratamiento frente a SARS-CoV-2, los focos generados capaces de contaminar al resto se encuentran en interiores y por tanto la filtración solo tendrá utilidad directa en el caso de unidades de recirculación.

En la DTIE 2.07 se recomienda evitar la recirculación con transferencia de aire entre espacios y/o zonas durante los episodios de SARS-CoV-2 para evitar el riesgo de propagación de partículas virales entre las distintas zonas o espacios del edificio. Si los filtros no son los adecuados para la filtración de un virus se debe evitar al máximo la recirculación y fomentar la aportación de todo aire exterior. [13]

En el apartado anterior se ha mencionado que el contaminante más común utilizado para el control de los sistemas de ventilación, es el de la concentración de CO<sub>2</sub> sobre la del aire exterior [5]. En una situación de pandemia el riesgo de contagio comunitario es muy alto. La categoría mínima de calidad de aire necesaria en cualquier interior compartido es IDA 1. El valor límite general en espacios interiores compartidos debe ser de 700 ppm de CO<sub>2</sub>. [9]

### 1.3 Equipos del sistema de climatización

En este apartado se van a nombrar brevemente los equipos fundamentales en un sistema de climatización, sin embargo en el **anexo IV** se explicarán en mayor profundidad. Se partirá del elemento principal en el sistema HVAC, la unidad de tratamiento de aire (UTA), y se continuará con los recuperadores de calor, difusores y fan coils.

### Unidad de Tratamiento de Aire (UTA)

La unidad de tratamiento de aire es el elemento principal del sistema de climatización y ventilación de un edificio. Se trata de un equipo formado por distintos elementos: intercambiadores de calor, ventiladores y filtros. Permite realizar un tratamiento integral del aire utilizado controlando distintas variables: aportación de aire exterior, filtrado, temperatura o humedad [14]. Por lo general las UTAs se colocan en espacios cerrados en los que suele haber tránsito de gente o necesitan una gran higiene en el ambiente interior: hospitales, oficinas, centros educativos o teatros. [15]

Las UTAs permiten la entrada de aire exterior posibilitando cumplir la función de ventilación. Al mismo tiempo que se introduce el aire exterior en la unidad tras una etapa de filtrado, esta permite expulsar el aire contaminado que ya ha sido utilizado. [16]

La sección de mezcla o free-cooling situada en la aspiración de la UTA permite ajustar el aire de retorno, el aire exterior y el aire de expulsión en los porcentajes deseados [14]. El free-cooling es sin duda el líder del ahorro energético. Consiste en sustituir por aire del exterior, simplemente filtrado, el aire de retorno que se impulsa a un local refrigerado, pudiendo emplearse este sistema siempre y cuando la entalpía del aire exterior no supere a la del aire de impulsión precisado. [17]

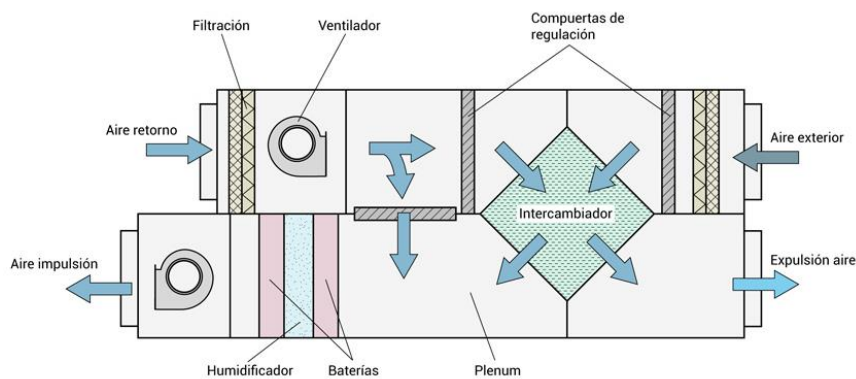


Ilustración 2. Esquema de la configuración de una UTA. Fuente: Airtècnics.

### Recuperador de calor

Una parte fundamental del funcionamiento de la unidad de tratamiento de aire es el recuperador de calor o intercambiador. El aire interior del edificio debidamente tratado consigue tener unas condiciones térmicas e higrométricas acordes a los requisitos del local. Cuando por motivos de higiene es necesario extraer dicho aire e introducir aire nuevo de ventilación, el recuperador de calor es el componente encargado de aprovechar la energía que tiene dicho aire que se extrae y transferirla al aire nuevo que se introduce. De esta manera se produce una reducción muy importante en el consumo energético necesario para acondicionar el aire nuevo desde las condiciones exteriores hasta las condiciones interiores de confort. [18]

La Directiva Europea 2009/125/CE, Reglamento 1253/2014 de ECODISEÑO establece la obligatoriedad de incorporar dicho componente a todas las unidades de climatización bidireccionales.

Dependiendo del tipo de calor intercambiado, los recuperadores de calor pueden ser recuperadores de calor sensible o recuperadores de calor sensible y latente, también conocidos como intercambiadores de energía. Los primeros se basan en la transferencia de temperatura

entre corrientes de aire, mientras que, en los intercambiadores de energía se produce la transferencia de temperatura y humedad diferencial entre dichas corrientes de aire. [19]

También pueden clasificarse atendiendo a la forma en que se transfiere la energía ente ambos fluidos. En primer lugar, se encuentran los sistemas de contacto directo, en ellos se produce una mezcla física ente los dos fluidos, produciéndose la transferencia energética. En segundo lugar, aparecen los sistemas regenerativos, aquí ambos fluidos recorren un mismo espacio de forma alternada, sin coincidir entre ellos. El intercambio de calor se produce sobre la superficie del equipo. Por último, en los sistemas recuperativos la transferencia térmica se realiza a través de una superficie que separa físicamente las corrientes de ambos fluidos. [17]

Existen distintos sistemas de recuperación de calor, de los cuales, los más utilizados en aplicaciones para edificios no residenciales, son estáticos o de placas (flujos cruzados y contracorriente) y rotativos (de condensación, entálpico o de adsorción) [18]. Los diferentes tipos de recuperadores de calor se detallan en el **anexo IV**.

### *Fan Coils*

Un fan coils se trata de un equipo agua-aire, están formados por una batería o intercambiador de frío o calor, un ventilador y un filtro. Cuentan con una carcasa exterior, con una rejilla de toma de aire y una de impulsión. Estos equipos utilizan el agua como elemento refrigerante. Reciben agua caliente o fría desde el exterior y lo hacen circular por unos tubos o serpentines. El ventilador se encarga de impulsar el aire hacia los tubos donde circula el agua, produciéndose así la transferencia de calor. Por último, el aire pasa por un filtro y sale al espacio que debe climatizar. [20]



*Ilustración 3. Fan coils tipo casete. Fuente: Systemair.*

Se pueden distinguir entre fan coils de dos tubos o de cuatro tubos. La principal diferencia radica en que las unidades de cuatro tubos poseen dos tubos de impulsión y dos tubos de retorno, funcionando de forma independiente y llegando a producir frío y calor simultáneamente. Esto se traduce en un mayor confort. Sin embargo, los de dos tubos únicamente tienen un tubo de impulsión y otro de retorno, de forma que no pueden producir frío y calor simultáneamente. Estos equipos tienen un coste inferior que los de cuatro tubos. [20]

### *Difusores*

En el sector de la ventilación mecánica, los difusores son aquellos paneles que se colocan en el extremo final de la entrada de aire y de la impulsión o extracción. Estos paneles reciben el aire aclimatado de una UTA o fan coil y se encargan de distribuirlo en la estancia. [22]

Existen distintos tipos de difusores: rotacionales, radiales, lineales... Los más aconsejables son los rotacionales ya que debido al fenómeno de inducción permiten reducir la diferencia de las condiciones entre el aire ambiente y el impulsado. Además, tienen un gran alcance para grandes espacios. [23]

## 1.4 Generalidades de la ventilación en centros universitarios

La pandemia de COVID-19 ha tenido un gran impacto en toda la sociedad, y especialmente en el ámbito educativo. En la mayoría de los países, el intento de reducir la circulación del SARS-CoV-2 y el desarrollo de COVID-19 ha obligado a tomar medidas de prevención y protección, llevando a un replanteamiento de la organización de múltiples actividades docentes para reanudarlas de manera segura. [24]

Como se ha comentado anteriormente la principal forma de contagio entre personas en el interior de un edificio es mediante bioaerosoles. Dado que el riesgo de propagación aumenta a mayor interacción entre las personas, y mayor tiempo de duración de la misma, los centros universitarios se ven obligados a tomar una serie de medidas para poder garantizar una docencia segura [24]. En este contexto se recomienda un uso prioritario de los espacios abiertos, manteniendo el uso de mascarilla y distancia de seguridad. Sin embargo, esta medida no parece posible debido a la dependencia de las condiciones climatológicas o el poco confort para el alumnado y profesorado por lo que es necesaria una correcta ventilación de las aulas.

La ventilación puede ser por medios naturales mediante apertura de puertas y ventanas, forzada (mecánica) o una combinación de los dos sistemas [25]. En el documento de “Medidas de prevención, higiene y promoción de la salud frente a covid-19 para centros universitarios en el curso 2020-2021” publicado por el Gobierno de España en Marzo de 2021 se recomienda la ventilación natural como la opción preferente. Priorizando una ventilación cruzada de forma permanente, con apertura de puertas y/o ventanas opuestas o al menos en lados diferentes de la sala para favorecer la circulación de aire. En situaciones de alta transmisión comunitaria de SARS-CoV-2 se debe priorizar la ventilación natural por encima del confort térmico o a los requerimientos de eficiencia energética. Si la ventilación natural no es suficiente, se puede utilizar la ventilación forzada, debiendo aumentarse el suministro de aire exterior y disminuir la fracción de aire recirculado al máximo, con el fin de obtener una adecuada renovación de aire. [24]

Sin embargo, la Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR) indica que puede reducirse la posibilidad de contagio en espacios interiores mediante la renovación del aire de las aulas ya sea mediante una instalación mecánica de ventilación o apoyándose en sistemas menos eficientes como la ventilación natural. La ventilación natural depende significativamente de la diferencia de temperatura entre el aire interior y el ambiente, además de la velocidad y dirección del viento. Como resultado, no se puede garantizar una ventilación natural suficiente en todo momento [26]. En cambio, los sistemas de ventilación mecánica proporcionan una serie de ventajas, que permiten cumplir la normativa de calidad de aire interior independientemente de las condiciones climatológicas del exterior:

- Controlar el caudal de ventilación y regular en función de las necesidades del local. Introducir la cantidad necesaria de aire exterior en el momento necesario.
- Mejor homogeneización de la calidad de aire interior ya que el aire de ventilación se distribuye a través de los sistemas de difusión de aire del sistema de climatización.
- Aire filtrado.
- Posibilita introducirlo a la temperatura adecuada gracias al recuperador de calor.
- Se puede programar para hacer free-cooling cuando sea favorable esta opción.
- Menos problemas de ruido exterior ya que se puede cerrar ventanas.

De manera que el uso de ventilación natural pasa a recomendarse únicamente en aquellas aulas que carecen de ventilación mecánica o como un apoyo de esta cuando no se cumplen los niveles requeridos de calidad de aire interior. [26]

Los nuevos centros universitarios se encuentran bajo la normativa de ventilación que obliga a la instalación de “un sistema de ventilación para el aporte del suficiente caudal de aire exterior que evite la formación de elevadas concentraciones de contaminantes” en el RITE (IT 1.1.4.2.1). El problema radica en que la mayoría de edificios construidos previamente a esta normativa carecen de dicho sistema de ventilación mecánica, de manera que únicamente utilizan ventilación natural o un sistema en el que no se conoce si se garantizan unos niveles de calidad de aire adecuados. [27]

En conclusión, asegurar la ventilación necesaria en muchos centros educativos puede ser un desafío, al no contar con una instalación mecánica. La ventilación de los espacios se puede determinar de forma indirecta midiendo la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire. Esta concentración aumenta debido a la emisión de CO<sub>2</sub> emitido al respirar por las personas. De esta forma, se ha extendido el uso de medidores de CO<sub>2</sub> ambiente para determinar si un espacio se encuentra ventilado adecuadamente o no, sin comprometer el confort térmico. Un valor de CO<sub>2</sub> ambiente entre 800 y 1000 ppm se considera adecuado para el interior de un aula. [26]

## 2 Eficiencia energética

### 2.1 Introducción

Desde que en el año 1993 la Directiva 76/CEE introdujo la Eficiencia Energética como uno de los medios para limitar las emisiones de gases que provocan el efecto invernadero, la reducción del consumo de energía en los edificios e instalaciones industriales se convirtió en uno de los objetivos prioritarios.

Esto ha supuesto importantes cambios en la forma de diseñar, ejecutar y operar instalaciones frente a lo que tradicionalmente se venía haciendo. No solo deben satisfacer las necesidades del cliente y cumplir los requisitos de la normativa sino que, adicionalmente, deben hacerlo con el menor consumo de energía posible. [28]

La adopción de soluciones más eficientes supone una inversión adicional sobre otras que aportan las mismas prestaciones pero con un consumo de energía mayor. La Eficiencia Energética se ha configurado como un nuevo sector económico que engloba a las instalaciones eficientes y la necesidad de recuperar la inversión por medio de los ahorros de energía que estas aportan frente a soluciones convencionales. [28]

### 2.2 Consumo energético

La demanda energética mundial se puede decir que sigue aumentando a todos los niveles. Entre los años 1971 y 2001, el consumo de energía a escala mundial aumento en torno al 80% [29]. En este tiempo la energía consumida por el mundo fue principalmente de origen fósil, siendo el petróleo el mayoritario de ellos.

El petróleo representa el 40% del consumo mundial de energía primaria, y ocupa un lugar predominante e insustituible a corto plazo, como fuente de energía básica. Su consumo en el mundo no ha dejado de crecer desde que empezó a extenderse su utilización a finales del siglo XIX [29].

En 1997 tiene lugar el acuerdo mundial “Protocolo Kyoto” de la convención de las naciones unidas sobre el cambio climático con el fin de promover el desarrollo sostenible de cada uno de los países involucrados y reducir el cambio climático. Algunas de las medidas que se propusieron fueron las siguientes:

- Fomentar la eficiencia energética.
- Investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de las nuevas energías renovables.
- Medidas para limitar y reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero. [30]

A pesar de que el protocolo fuera adoptado en diciembre de 1997, este no entraría en vigor hasta febrero de 2005, momento en el que se publican los plazos marcados sobre la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Con estas medidas se ha impulsado a los distintos gobiernos a establecer políticas para cumplir sus compromisos. En el caso de la Unión Europea, el objetivo en conjunto era la reducción de un 8% de las emisiones de gases de efecto invernadero para el periodo 2008-2012 con respecto a las emisiones de 1990. [31]

La Autoridad Nacional Designada (AND) por España para los mecanismos basados en proyectos del Protocolo de Kioto es una comisión interministerial creada conforme a la Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. [32]

Respecto a la evolución del consumo de energía final en España, este aumentó en 2018 un 2,5% respecto a 2017. [33]

La aportación conjunta del petróleo y gas natural equivale al 67,5 % de la demanda de energía final [33]. Como se puede apreciar el consumo energético en España se sustenta mayoritariamente en las fuentes de energía de origen fósil.

**TABLA 2.32. CONSUMO DE ENERGÍA FINAL EN ESPAÑA. USOS NO ENERGÉTICOS EXCLUIDOS**

	E. Final Total (ktep)		Carbón		Productos Petrolíferos		Gas Natural		Renovables y residuos		Electricidad	
	ktep	%	ktep	%	ktep	%	ktep	%	ktep	%	ktep	%
1990	57.287		4.369	7,6%	34.204	59,7%	3.951	6,9%	3.946	6,9%	10.817	18,9%
1991	59.769		4.647	7,8%	36.051	60,3%	4.306	7,2%	3.704	6,2%	11.061	18,5%
1992	60.708		4.316	7,1%	37.065	61,1%	4.705	7,7%	3.379	5,6%	11.244	18,5%
1993	60.036		3.514	5,9%	36.878	61,4%	5.011	8,3%	3.396	5,7%	11.237	18,7%
1994	62.865		3.183	5,1%	39.481	62,8%	5.015	8,0%	3.410	5,4%	11.777	18,7%
1995	64.181		2.650	4,1%	39.656	61,8%	6.425	10,0%	3.334	5,2%	12.116	18,9%
1996	65.751		2.361	3,6%	40.489	61,6%	6.893	10,5%	3.353	5,1%	12.655	19,2%
1997	68.664		2.396	3,5%	41.478	60,4%	7.743	11,3%	3.372	4,9%	13.674	19,9%
1998	72.334		2.188	3,0%	43.729	60,5%	8.703	12,0%	3.511	4,9%	14.202	19,6%
1999	74.952		1.958	2,6%	44.590	59,5%	9.633	12,9%	3.530	4,7%	15.241	20,3%
2000	80.039		2.045	2,6%	46.499	58,1%	11.819	14,8%	3.471	4,3%	16.205	20,2%
2001	84.047		2.310	2,7%	47.961	57,1%	13.009	15,5%	3.488	4,1%	17.279	20,6%
2002	85.369		2.307	2,7%	48.100	56,3%	13.697	16,0%	3.595	4,2%	17.671	20,7%
2003	90.746		2.292	2,5%	50.737	55,9%	15.322	16,9%	3.659	4,0%	18.736	20,6%
2004	95.076		2.316	2,4%	52.866	55,6%	16.372	17,2%	3.689	3,9%	19.834	20,9%
2005	98.126		2.158	2,2%	53.694	54,7%	17.653	18,0%	3.793	3,9%	20.827	21,2%
2006	95.825		1.997	2,1%	53.500	55,8%	15.158	15,8%	4.007	4,2%	21.163	22,1%
2007	98.481		2.155	2,2%	54.772	55,6%	15.706	15,9%	4.284	4,4%	21.564	21,9%
2008	94.984		1.977	2,1%	51.977	54,7%	14.679	15,5%	4.417	4,7%	21.934	23,1%
2009	88.046		1.434	1,6%	47.975	54,5%	13.003	14,8%	5.017	5,7%	20.617	23,4%
2010	89.444		1.637	1,8%	47.028	52,6%	14.347	16,0%	5.384	6,0%	21.049	23,5%
2011	86.916		1.904	2,2%	44.239	50,9%	14.001	16,1%	5.834	6,7%	20.938	24,1%
2012	83.401		1.495	1,8%	40.290	48,3%	14.634	17,5%	6.323	7,6%	20.658	24,8%
2013	80.811		1.770	2,2%	39.398	48,8%	14.786	18,3%	5.073	6,3%	19.784	24,5%
2014	79.407		1.488	1,9%	38.984	49,1%	14.295	18,0%	5.130	6,5%	19.510	24,6%
2015	80.588		1.503	1,9%	40.677	50,5%	13.139	16,3%	5.317	6,6%	19.952	24,8%
2016	82.520		1.384	1,7%	42.148	51,1%	13.445	16,3%	5.550	6,7%	19.993	24,2%
2017	84.899		1.662	2,0%	43.387	51,1%	13.486	15,9%	5.806	6,8%	20.559	24,2%
2018	86.883		1.538	1,8%	44.315	51,0%	14.271	16,4%	6.254	7,2%	20.504	23,6%

Tabla 2. Consumo de energía final en España. Fuente: MITECO.

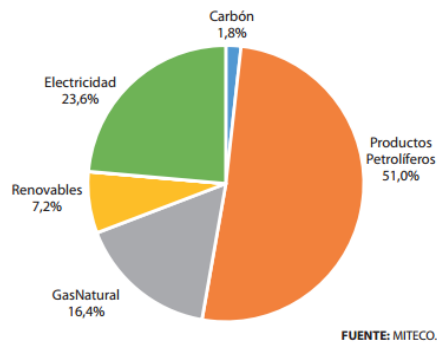


Ilustración 4. Desglose del consumo de energía final en España 2018. Fuente: MITECO.

El impacto del sector del transporte sobre el medio ambiente y la dependencia energética justifican la necesidad de potenciar las medidas de eficiencias dirigidas al transporte. Tradicionalmente el mayor consumidor de energía en España había sido el sector industrial, sin embargo, las medidas de ahorro que comenzaron a ponerse en práctica en los setenta y las mejoras en eficiencia hicieron que perdiera peso relativo en la estructura de demanda energética. [34]

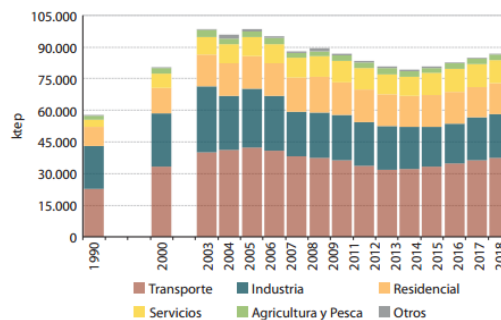


Tabla 3: Consumo de energía final por sectores, 1990-2018. Fuente: IDAE

Respecta al consumo energético de las familias españolas, estas representan aproximadamente el 36% del consumo total de energía final, que se distribuye entre un 18,5% imputable a los usos energéticos de la vivienda y un 17% al uso del vehículo privado. [34]

Los edificios, en particular los residenciales, son los mayores consumidores de energía en la UE. También es el sector con el mayor potencial de ahorro de energía en Europa. El ahorro de energía producido por las renovaciones de edificios se deriva típicamente de la mejora de los sistemas de aislamiento, calefacción y refrigeración, e iluminación. [35]

En la actualidad, “aproximadamente el 75% de los edificios de la Unión Europea (UE) son ineficientes energéticamente”. [36]

El aumento de la eficiencia energética significa consumir menos energía manteniendo un nivel equivalente de prestaciones. Al utilizar la energía de manera más eficiente, los ciudadanos de la UE pueden reducir sus facturas de energía, así como contribuir a proteger su salud y el medio ambiente y a mejorar la calidad del aire.

REPARTO DEL CONSUMO ELÉCTRICO DOMÉSTICO EN ESPAÑA (2015)	
Usos finales	Estructura del consumo eléctrico (%)
CALEFACCIÓN	7,4%
ACS	7,5%
COCINA	9,3%
REFRIGERACIÓN	2,3%
ILUMINACIÓN	11,7%
ELECTRODOMÉSTICOS	61,8%
Frigoríficos	19,0%
Congeladores	3,7%
Lavadoras	7,3%
Lavavajillas	3,7%
Secadoras	2,1%
Hornos	5,1%
Televisores	7,5%
Ordenadores	4,6%
Stand-by	6,6%
Otros equipamientos	2,2%
<b>TOTAL CONSUMO ENERGÍA FINAL</b>	<b>100,0</b>

Tabla 4. Reparto del consumo eléctrico doméstico en España. Fuente: IDAE

### 2.3 Eficiencia en ventilación

El sector Edificación y equipamiento comprende, a efectos del Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020, los servicios que tienen un mayor peso sobre el consumo energético de los edificios, como son las instalaciones térmicas de calefacción, climatización, ventilación y producción de agua caliente sanitaria. [37]

El consumo de energía final del sector Edificación y equipamiento representa el 26,1% del consumo de energía final nacional para usos energéticos. De este consumo, al sector de edificios de uso doméstico corresponden 17,5% del consumo energético nacional y al sector de edificios destinados a servicios representan un 8,6% sobre el consumo energético nacional. [37]

Por lo que respecta a los edificios del sector servicios, el consumo de energía se distribuye en: calefacción (31,1%), aire acondicionado (26,2%), iluminación (22%), equipamiento (17,3%) y agua caliente sanitaria (3,3%) [37].

Claramente más de la mitad de la energía consumida en este tipo de edificios va destinada a la climatización. Dicho consumo de energía se asocia al funcionamiento de los equipos del sistema de ventilación, a aclimatar el aire exterior para que en el interior se encuentre en unas condiciones de humedad y temperatura adecuadas y a compensar las pérdidas que suponen las infiltraciones de aire a través de la superficie envolvente del edificio o la ventilación natural. [38]

En este punto cobra importancia la ventilación inteligente, a partir de este innovador sistema podemos ajustar instantáneamente aquellas tasas de ventilación en función de la ocupación, temperatura exterior, calidad de aire exterior, detección directa de contaminantes o sistemas de limpieza de aire, proporcionando en todo momento un nivel adecuado de IAQ. [39]

Además, la ventilación inteligente puede proporcionar información a los técnicos operativos y ocupantes o propietarios sobre la energía consumida y la calidad de aire interior en cada momento, al mismo tiempo que puede mandar una alarma en caso de que el sistema necesite algún tipo de mantenimiento o reparación. [39]

Siendo capaces de controlar la ventilación necesaria para cada situación, se estará minimizando el consumo energético debido a la adecuación del aire exterior a las condiciones deseadas en el interior. Es decir, se estará ventilando únicamente lo justo y necesario para tener una calidad de aire interior adecuada, de forma que se minimice en consumo de energía por parte de los equipos de climatización y se asegure el confort térmico.

Cuando se utiliza la ventilación natural no se está controlando ningún parámetro que garantice una calidad de aire interior adecuada debido a que no se puede ajustar continuamente en función de ningún parámetro. Se puede estar ventilando en exceso, lo que ocasiona un gasto energético innecesario o, ventilar en defecto, careciendo de confort térmico y poniendo en peligro la salud de los ocupantes.

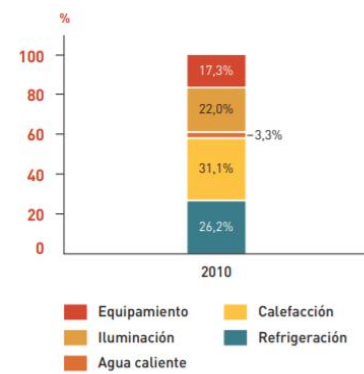


Tabla 5. Distribución del consumo de energía final en el sector servicios. Fuente: IDAE.

## CASOS PRÁCTICOS

### 3. Monitorización de la climatización en función del CO<sub>2</sub>

#### 3.1 Introducción

En el campus Rio Ebro durante el curso 2020-2021 se comenzaron a instalar sensores de CO<sub>2</sub> en diferentes aulas y espacios con el fin de controlar la calidad de aire que se respiraba debido a la emergencia sanitaria provocada por el SARS-CoV-2.

Actualmente la climatización en las aulas se controla a través de un termostato, donde el usuario puede fijar la temperatura deseada. Climatizar un espacio no consiste únicamente en calentar o enfriar aire, se deben tener en cuenta otras variables como la ventilación, humedad interior o concentración de CO<sub>2</sub>. Teniendo un control únicamente por temperatura no se controla que la ventilación sea estrictamente la necesaria, lo que supone un malgasto energético. Monitorizando la climatización en función de la temperatura y el nivel de CO<sub>2</sub> se consigue evitar dicho malgasto y además garantizar una calidad de aire interior adecuada.

Los estudiantes están expuestos a varios contaminantes en el interior del aula. El sistema de ventilación mecánica puede influir en los niveles de contaminación interior y en la temperatura o humedad relativa del espacio. Una adecuada ventilación que suministre aire fresco del exterior al interior de las aulas, ayudará a diluir los niveles de contaminación y proporcionar un aire de calidad para los ocupantes. [40]

El primer paso que se ha dado en la Universidad de Zaragoza ha sido el de monitorizar las condiciones ambientales en las aulas. A través de la instalación de equipos de medida de CO<sub>2</sub>, temperatura y humedad interior podemos conocer la calidad del aire interior en todo momento. Una vez conocido el funcionamiento de la instalación de climatización en las aulas y con los valores de las variables medidas, se debe analizar el efecto que tiene la ventilación mecánica en los niveles de CO<sub>2</sub> de forma que se garantice que en ningún momento se supere el nivel de concentración de CO<sub>2</sub> (800 ppm) recomendado en interiores [41]. Si en un aula se está utilizando la ventilación mecánica pero los niveles de CO<sub>2</sub> proporcionados por los equipos de medida son muy altos, se deberá hacer uso de la ventilación natural hasta que se llegue a valores que no generen riesgo de contagio.

Colocando estos equipos se pretende obtener una mayor calidad de aire interior debido a la urgencia creada por la pandemia del virus SARS-CoV-2, pero no se debe olvidar que monitorizando la climatización en función del CO<sub>2</sub> se conseguirá también un aumento en la eficiencia energética. El objetivo final es rehabilitar las instalaciones actuales para tender hacia el prototipo de edificios inteligentes.

Cuando se realizó el presente estudio, en marzo de 2021, había un total de 28 equipos de medida instalados, repartidos entre los edificios Betancourt, Torres Quevedo y Ada Byron. Los resultados que proporcionan dichos equipos pueden visualizarse en la página web de sensorIZAR [42].

El objetivo de este estudio es analizar cómo se comportan los equipos de medida instalados, verificar la fiabilidad de los resultados que proporcionan y establecer un procedimiento de revisión periódico. Al mismo tiempo se tratará de encontrar la ubicación más adecuada de estos equipos en cada tipología de aula.

### 3.2 Instalación de climatización actual

Durante este estudio se produjo una visita a las instalaciones de climatización del edificio Betancourt con las personas responsable del mantenimiento de las instalaciones, cuyo análisis en profundidad se puede encontrar en el **anexo V**. En este apartado se trata de recopilar la información más relevante para dar a conocer brevemente dicha instalación.

En el edificio se disponen de 4 UTAs: una para climatizar la biblioteca y la sala de estudios, otra para la cafetería, otra para el salón de actos y la última para todas las aulas. Las tres primeras permiten el funcionamiento por free-cooling. La UTA que aporta aire exterior a las aulas, dispone de un recuperador de placas de flujo cruzado. Todos los fancoils de las aulas reciben aire exterior de esta UTA y lo distribuyen a través de difusores rotacionales.

El free-cooling permite sustituir por aire exterior, simplemente filtrado, el aire de retorno que se impulsa al espacio refrigerado. Esto se puede realizar siempre que la entalpía del aire exterior no supere a la del aire de impulsión precisado. De esta forma se puede asegurar el confort térmico de los ocupantes, generando un ahorro energético.

La siguiente tabla es un resumen del **anexo V**, en la cual se muestran las instalaciones de climatización de las distintas aulas del edificio Betancourt.

AULAS	Aire ext.	UTA	Fancoil	Nº Difusores	Difusor
0.01/0.02/0.03/0.04/ 1.01/1.02/1.03/1.04/ 2.01/2.02/2.03/2.04	SI	Tipo 1	Tipo 8	6	Tipo 5
1.05/1.06/1.07/1.08/ 1.09/2.05/2.06/2.07/ 2.08/2.09	SI	Tipo 1	Tipo 7	4	Tipo 5
1.10	NO	Tipo 1	Tipo 1 y tipo 6	2+1	Tipo 1 + Tipo 3
1.11	NO	Tipo 1	Tipo 6	2	Tipo 1
2.18/2.19/2.20/2.21	SI	Tipo 1	Tipo 6	2	Tipo 5
3.07/3.08/3.09	SI	Tipo 1	Tipo 7	4	Tipo 1

Tabla 6. Climatización de las aulas del edificio Betancourt. Elaboración propia.

### 3.3 Equipos de medida de CO<sub>2</sub>

Equipos instalados

En el momento de la realización del presente estudio se tienen instalados en las aulas dos tipos de sensores distintos. Por un lado, se tienen los equipos con sensor MH-Z16 (facilitados por el grupo HowLab y Roberto Casas, Figura 1 derecha) y, por otro lado, los equipos que tienen un sensor MH-Z19b (facilitados y montados por Enrique Torres, Figura 1 izquierda).



Ilustración 5. Sensor MH-Z16 a la derecha. Sensor MH-Z19b izquierda. Elaboración propia.

El sensor MH-Z16 es un sensor de bajo coste que permite la medición de CO<sub>2</sub> en niveles comprendidos entre 0 y 2000 ppm con una tolerancia de  $\pm(100 \text{ ppm}+6\%$  del valor de medición) [45]. Por otro lado, el sensor MH-Z19b es un sensor de bajo coste que permite la medición de CO<sub>2</sub> entre 0 y 5000 ppm con una tolerancia de  $\pm(50 \text{ ppm}+3\%$  del valor de medición) [43]. Ambos equipos de medición funcionan por tecnología LoRa, permitiendo establecer conexiones a grandes distancias y redes IoT. Funciona mediante LoraWan que es un protocolo de red empleado para administrar y comunicar equipos que funcionan con tecnología LoRa. Permite la conexión de manera sencilla de un elevado número de sensores, la transmisión de información en un radio de aproximadamente 20km y la visualización de datos desde el ordenador de manera gratuita, lo que hace el uso de la tecnología LoRa muy recomendable.

Ambos sensores utilizan el principio de infrarrojos no dispersos (NDIR) para detectar la presencia de CO<sub>2</sub> en el aire. El dióxido de carbono absorbe la radiación infrarroja de una forma única y característica. El sensor contiene un emisor y un receptor de luz que mandan y reciben un haz con la longitud de onda de absorción de CO<sub>2</sub>. Este haz se ve atenuado de manera proporcional a la cantidad de CO<sub>2</sub> presente en el aire o mezcla de gases que se está analizando. El detector tiene un filtro óptico frente a él, que elimina toda la luz, salvo la longitud de onda que pueden absorber las moléculas del gas seleccionado. [44]

En la actualidad, para el inicio del curso 2021-2022 en el Campus de la EINA hay aproximadamente 30 equipos de medida Aranet4 Pro pendientes de instalación. Dichos equipos en este estudio se utilizaron como sensores referencia, se explican a continuación.

#### Equipos de referencia

Los equipos que se han detallado en el apartado anterior, los cuales están instalados a lo largo del campus, deben ser comparados con unos equipos de referencia que verifiquen su funcionamiento. Para ello se utilizaran los sensores aranet4 Pro junto a su base Aranet Pro.

Los sensores aranet4 Pro son capaces de medir la concentración de CO<sub>2</sub>, temperatura, humedad relativa y presión atmosférica. A través de un indicador de color advierten de si la calidad del aire que les rodea es adecuada o no. También utilizan un sensor NDIR. Permite la visualización de los datos en el mismo dispositivo mediante una pantalla de bajo consumo. Estos equipos ofrecen también la posibilidad de conectarse a través de la aplicación de móvil "Aranet" y visualizar ahí los datos.



Ilustración 6. Sensores Aranet4 Pro y su base. Fuente: Aranet.

La tolerancia para la medición de CO<sub>2</sub> de este equipo es de  $\pm (50 \text{ ppm}+3\%$  del valor de medición) [46]. Los valores de estos equipos fueron comparados por Javier Baselga Casas con los valores proporcionados por el equipo Testo 480. Este equipo permite la medición de CO<sub>2</sub>, temperatura y presión absoluta con gran precisión a través de una sonda que funciona por tecnología NDIR. Testo 480 posee una tolerancia en la medición de CO<sub>2</sub> de  $\pm (75 \text{ ppm}+5\%$  del valor de medición) [47]. Este dispositivo había sido calibrado previamente en un laboratorio acreditado oficialmente por la ENAC (Entidad Nacional de Acreditación), por tanto, a través de comparar los datos proporcionados por el Testo 480 y los Aranet4 Pro, se podía dar validez a los resultados proporcionados por estos últimos.

La base Aranet Pro se utiliza para el seguimiento de datos centralizado. Recopila de forma inalámbrica las lecturas de los dispositivos aranet4 Pro que se encuentran vinculados a ella. Pueden vincularse hasta 100 dispositivos. Esta base se conecta a los distintos equipos a través de una red bluetooth.

### 3.4 Lugar adecuado para instalar el equipo de medida de CO<sub>2</sub>

El siguiente paso que se debe tomar para verificar el buen funcionamiento de los equipos de medida es comprobar que están instalados en el lugar adecuado para medir el CO<sub>2</sub>. Estos equipos no pueden colocarse de manera aleatoria en el interior del aula. Dada la situación de emergencia sanitaria en la que nos encontramos se prioriza obtener la lectura más desfavorable de CO<sub>2</sub> con el fin de garantizar una docencia segura en las distintas aulas. En aquellos puntos de remanso donde no hay corrientes preferentes de aire será donde el nivel de concentración del CO<sub>2</sub> aumente debido a la menor renovación de aire. Una disposición inadecuada del sensor puede dar lugar a una representación incorrecta de la concentración de CO<sub>2</sub> en la zona de respiración.

Las concentraciones relativas de los contaminantes varían del 20 al 120% dentro del rango de altura de 1 a 2 metros [48]. Tres factores principales que afectan a la distribución de contaminantes en interiores son: (1) la ubicación y la fuerza de la fuente de contaminantes, (2) los movimientos internos del aire, así como (3) el tipo y ubicación de los difusores de aire de suministro. [48]

En su momento los sensores fueron instalados en las aulas de forma orientativa debido a la necesidad de garantizar una docencia segura y limitar la probabilidad de contagio de Covid-19 en el interior de las aulas. Para comprobar si estos equipos habían sido colocados de forma correcta, se realizó un estudio en colaboración con el estudiante Javier Baselga Casas del Grado de Ingeniería Mecánica. En dicho estudio se realizó un análisis de las aulas en las que se habían instalados estos equipos, identificando dos tipologías distintas en función de la distribución de ventanas, puertas y elementos de difusión. En estos espacios normalmente el equipo de medida se encuentra ubicado en la zona del profesor, ya que debido a su función se encuentra constantemente hablando y, por tanto, emitiendo CO<sub>2</sub>. En otras ocasiones también puede encontrarse en aquellas zonas donde no existe una corriente de aire, produciéndose un remanso. Las mediciones se realizaron con las aulas ocupadas y con la ventilación mecánica activada además de la ventilación natural.

En las aulas seleccionadas se colocaron 5 equipos de Aranet4 Pro durante una hora, realizando toma de datos cada 15 minutos con el fin de encontrar el valor de concentración de CO<sub>2</sub> más desfavorable. Antes de comenzar estas medidas es necesario dar un tiempo en torno a 10 minutos para que los Aranet4 Pro se estabilicen con el ambiente de dicho espacio. El resultado que se obtuvo fue que los equipos de medida en las aulas estaban colocados en el lugar correcto y, en consecuencia, no debía cambiarse la ubicación de estos. Este estudio se puede ver más a fondo en los **anexos VI y VII**.

### 3.5 Revisión de los equipos de medida

Una vez que se ha comprobado que los equipos de medida están instalados en el lugar adecuado, y se ha entendido como funcionan los equipos que se van a emplear en el estudio, el siguiente paso es revisar el funcionamiento de los sensores instalados.

En el momento que se realiza dicho trabajo, los equipan llevan un tiempo instalados en las clases y se necesita comprobar si estos siguen funcionando correctamente, o bien, deben ser revisados

o recalibrados periódicamente. Para ello se establece un criterio de revisión comparando las lecturas de los sensores instalados con los equipos de referencia, pudiendo validar o no las lecturas proporcionadas por el equipo instalado en el aula. El criterio se establece en base a la tolerancia de los equipos Aranet4 Pro y el número de equipos que son aceptados o rechazados en función de los límites permisivos establecidos. Se llega a la conclusión de que un equipo instalado deberá ser revisado si sus lecturas respecto a las proporcionadas por el sensor Aranet4 Pro difieren en más de 65 ppm en su tolerancia superior o menos de 55 ppm en el límite inferior. El límite inferior es más restrictivo debido a que se debe tener la seguridad de no estar ventilando menos de lo necesario, es decir, se quiere evitar al máximo tener valores en los equipos instalados inferiores a los reales ya que proporcionarían una falsa seguridad. La elección de este criterio se puede leer detalladamente en el **anexo VIII y IX**.

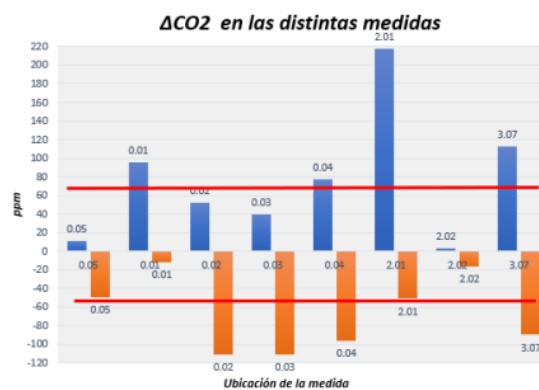


Tabla 7. Criterio de revisión establecido. Elaboración propia

A continuación, se va a explicar cómo se procedió para comprobar el funcionamiento de los equipos de medida instalados. En primer lugar, se debían colocar los dispositivos Aranet4 Pro en el mismo lugar que los equipos instalados en las aulas. Posteriormente, se procede a medir durante una hora, recogiendo la lectura de ambos equipos en intervalos de 15 minutos. Una vez acabado este proceso, se comparaban los resultados obtenidos y en base al criterio de revisión establecido, se aceptaban los valores de concentración de CO<sub>2</sub> o se recomendaba la revisión de dicho equipo.

Este estudio tiene dos fases distintas, en las cuales tanto el estudiante Javier Baselga Casas como yo hemos trabajado conjuntamente. En el que caso que a mí me ocupa, me encargue de revisar los equipos que hasta ese momento había instalados en el edificio Betancourt. En los resultados obtenidos se observa que se disponía de 16 sensores instalados en distintas aulas y espacios, de los cuales 8 funcionaban correctamente y el resto debían revisarse. Es decir, el 50% de los equipos instalados estaba ofreciendo una lectura de la concentración de CO<sub>2</sub> fiable. Este resultado no era nada bueno dado que un gran número sensores no funcionaban correctamente.

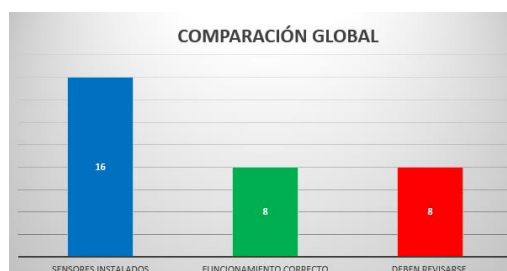


Tabla 8. Comparación global de los sensores instalados. Elaboración propia.

Si los resultados se analizan en función del tipo de sensor utilizado se encuentran que aquellos que funcionan con el sensor MH-Z16 tienen mejores prestaciones respecto a los que portan el MH-Z19b. En total en el edificio Betancourt hay 7 sensores MH-Z16 instalados, de los cuales funcionan correctamente 6, es decir, el 86% de los equipos. Si uno se fija en los sensores MH-Z19b, se encuentra un total de 9 equipos instalados, de los cuales únicamente 2 equipos proporcionan datos aceptables, es decir, el 78 % de los equipos debe ser revisado. En consecuencia de lo expuesto anteriormente, se recomienda el uso de los sensores MH-Z16. En el **anexo X** se detalla este procedimiento.

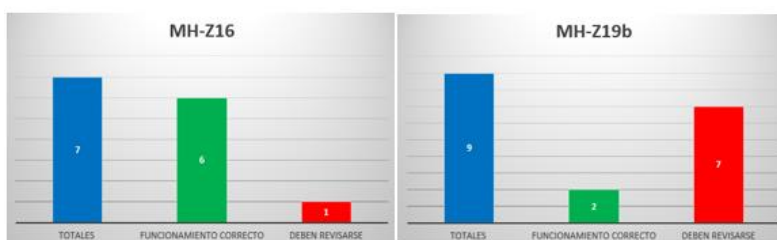


Tabla 9. Funcionamiento del equipo según el tipo de sensor usado. Elaboración propia.

Por otra parte, Javier Baselga Casas realizó este mismo estudio dos semanas antes, con el mismo objetivo de verificar el correcto funcionamiento de los equipos instalados. Comparando los resultados obtenidos con dos semanas de diferencia, se puede observar que estos cambian en algunos equipos. Este hecho es debido a que los sensores necesitan una revisión o recalibración periódica. En este estudio también se recomienda el uso de los equipos de medida con sensor MH-Z16, en el **anexo XI** se puede ver en detalle.

La instalación de equipos de medición de CO<sub>2</sub> no tiene utilidad si no se lleva un control sobre el funcionamiento de estos. En el caso de que se instalen nuevos equipos de medición diferentes a los explicados en este trabajo, se deberá establecer un nuevo criterio de aceptación de la misma forma que se ha hecho en este estudio.

### 3.6 Panorama actual

El estudio realizado hasta este momento se llevó a cabo a comienzos del segundo cuatrimestre del curso 2020-2021. Con el inicio del nuevo curso en septiembre de 2021 el profesor Ignacio Martínez con la colaboración del grupo HowLab propuso volver a revisar todos equipos que estaban instalados hasta ese momento. En la página web de Sensorizar había gran cantidad de equipos que aparecían como averiados o directamente mostraban lecturas de la concentración de CO<sub>2</sub> desproporcionadas.

Gracias a esta revisión se detectó que había numerosos equipos que estaban proporcionando valores absurdos o que directamente no estaban proporcionando ningún valor. Se aconsejó la desinstalación de aquellos equipos que no tenían un funcionamiento adecuado para tratar de desmontarlos y entender que estaba ocurriendo con ellos. En concreto eran 21 equipos. En total en ese momento había instalados 42 equipos de medida, por tanto, el 50% estaba funcionando incorrectamente, un porcentaje demasiado elevado.



*Ilustración 7. Equipos de medida desinstalados. Fuente: elaboración propia*

Había tanto equipos con el sensor MH-Z19b como con el sensor MH-Z16. Tratando de entender porque estos equipos funcionaban mal, nos percatamos de que en los equipos que supuestamente se utilizaba un sensor MH-Z16 no era así. Se trataba de un sensor un SenseCap de Seedstudio, y no un MH-Z16 como se pensaba hasta ese momento.

En el mismo laboratorio entendimos que el 100% de los equipos que habían reportado lecturas erróneas o no reportaban estaban sin batería. La duración de dicha batería en estos equipos se estimaba que duraba durante un año y medio. Sin embargo, según el fabricante la duración de la batería es de 3 años reportando cada hora. Estos sensores que se tenían instalados estaban proporcionando lecturas de CO<sub>2</sub> cada 10 minutos, por lo tanto, la duración de la batería se disminuía hasta los seis meses.

El problema de estos sensores radica en el cambio de la batería, a diferencia de los Aranet que emplean pilas AA y su remplazo es sencillo. Los sensores SenseCap utilizan batería tipo D, cuyo remplazo implica desmontar el sensor, sacar el cuerpo y desatornillar el interior, en resumen, una tarea un tanto tediosa teniendo en cuenta que este proceso habría que repetirlo cada seis meses en numerosos equipos.

Debido a los problemas proporcionados por estos dos tipos de sensores, los cuales venían arrastrándose desde finales del curso 2020-2021, se decidió apostar por la instalación de los Aranet4 Pro en el resto de aulas. Estos equipos proporcionan numerosas ventajas como su gran precisión y fiabilidad de las lecturas proporcionadas, su lectura instantánea en una pantalla de bajo consumo o una durabilidad superior de su batería respecto al resto de sensores mencionados.

Al mismo tiempo que se realizaba este trabajo, se dio formato a una hoja Excel en la que pudiera ser posible tener todos equipos de medida localizados en su respectiva aula y su identificador correspondiente. También se reservó el respectivo espacio para los futuros sensores que se iban a instalar, ya que en este momento había en torno a 30 equipos de Aranet 4 Pro esperando para su instalación. Esta hoja Excel puede verse en detalle en el **anexo XIII**.

Se creó también una hoja de cálculo en la que pudieran notificarse cada revisión o incidencia que ocurriera en el sensor, detallando la fecha en que se había producido dicho acontecimiento, el funcionamiento que estaba proporcionando el sensor y el mantenimiento que había precisado dicho equipo. Esta hoja Excel puede verse en el **anexo XIV**.

## 4. Estimación de la carga térmica demandada debido a ventilación

### 4.1 Introducción

En este apartado se pretende estimar cual es la demanda térmica por ventilación y cuál es el orden de magnitud ( $W/m^2$ ) que se tienen en los distintos espacios del edificio Agustín Betancourt utilizando exclusivamente la ventilación mecánica. Actualmente la ventilación en las aulas se controla a través de un termostato, sin tener en cuenta aforos e IAQ, como consecuencia se tiene un malgasto energético ya que en ocasiones se estará ventilando más de lo necesario o viceversa.

Para resolver estos problemas lo adecuado sería modular dicha ventilación en función de una serie de variables que dependiendo del rango en las que estas se muevan, la ventilación aumente o disminuya según sea necesario. Estas variables son: aforo del espacio, temperatura interior del aula y nivel de  $CO_2$  en el ambiente interior. Llevando a cabo esta monitorización del espacio se conseguirá un considerable ahorro energético y se garantizará el confort térmico y seguridad de los ocupantes.

### 4.2 Estudio

Para conocer la demanda que se necesita en la carga térmica de ventilación del edificio Agustín Betancourt se necesita conocer algunas variables como es el aforo del espacio y las condiciones de temperatura y humedad, tanto exterior como interior.

Este cálculo se realiza, a partir de la siguiente expresión.

$$q \left( \frac{kg}{s} \right) \cdot \Delta h \left( \frac{kJ}{kg} \right) = \text{potencia térmica (kW)}$$

*Ecuación 1. Cálculo de la demanda debida a ventilación.*

En el **anexo XII** se explica detalladamente como se calcula dicho valor de potencia térmica.

Para realizar este estudio, se elige un aula TIPO 1, la cual se puede identificar en el análisis de instalaciones de climatización de las aulas del Betancourt (**anexo V**). Esta aula tiene una superficie total de  $150 m^2$ . En el edificio Betancourt hay una potencia frigorífica instalada en climatización de  $1650 kW$  [49], teniendo en cuenta que en este edificio la superficie climatizada total es de  $25.818 m^2$  [50], se tiene una potencia frigorífica debida a climatización por metro cuadrado de  $64 W/m^2$ . Este valor se trata de un promedio, pero en los distintos espacios del edificio (aulas, pasillos, laboratorios, cafetería...) hay distinta potencia instalada, siendo posible que en algunas ocasiones este ratio sea mayor o menor. No obstante, dicho ratio de carga de ventilación se encuentra en un rango demasiado bajo, consecuencia de que no todos espacios tienen la misma potencia instalada y del factor de simultaneidad.

El estudio del aula se ha dividido para tres aforos distintos, es decir, se fijará un aforo-covid, un aforo-normal y el aforo-máximo permitido. Para cada uno de ellos se cambiarán las condiciones de temperatura y humedad. De esta forma se podrá visualizar cómo evoluciona la carga térmica de ventilación en función de aforo, temperatura y humedad. También se ha diferenciado entre el funcionamiento del sistema de climatización en modo calefacción (invierno) o modo refrigeración (verano).

### 4.3 Resultados

Los resultados obtenidos, en función del aforo en el aula y de las condiciones exteriores (verano o invierno) son los siguientes:

#### CONDICIONES DE VERANO

En condiciones de verano la temperatura interior se fija en 26°C.

#### **Aforo-covid**

W/m <sup>2</sup>		TEMPERATURA EXTERIOR (°C)		
		28	33	38
HUMEDAD INTERIOR	30%	20	62	112
	35%	10	52	102
	40%		43	92
	45%		33	82

Tabla 10. Resultados para las condiciones de verano con aforo-covid. Elaboración propia.

#### **Aforo normal**

W/m <sup>2</sup>		TEMPERATURA EXTERIOR (°C)		
		28	33	38
HUMEDAD INTERIOR	30%	30	95	171
	35%	15	80	156
	40%		65	141
	45%		50	126

Tabla 11. Resultados para las condiciones de verano con aforo-normal. Elaboración propia.

#### **Aforo máximo**

W/m <sup>2</sup>		TEMPERATURA EXTERIOR (°C)		
		28	33	38
HUMEDAD INTERIOR	30%	72	228	410
	35%	36	192	374
	40%		156	338
	45%		120	302

Tabla 12. Resultados para las condiciones de verano con aforo-máximo. Elaboración propia.

En las tablas anteriores se pueden apreciar los resultados obtenidos de la demanda térmica de ventilación (W/m<sup>2</sup>) y cómo evolucionan al variar la temperatura exterior y humedad interior bajo las condiciones verano. Se pueden ver en mayor detalle en el **anexo XII**.

## CONDICIONES DE INVIERNO

Para las condiciones de invierno, la temperatura interior se fija en 21°C.

### Aforo-covid

	TEMPERATURA EXTERIOR (°c)		
	1	8	12
Carga térmica (W/m2)	74	48	33

Tabla 13. Resultados para las condiciones de invierno con aforo-covid. Elaboración propia.

### Aforo normal

	TEMPERATURA EXTERIOR (°c)		
	1	8	12
Carga térmica (W/m2)	113	73	51

Tabla 14. Resultados para las condiciones de invierno con aforo-normal. Elaboración propia.

### Aforo máximo

	TEMPERATURA EXTERIOR (°c)		
	1	8	12
Carga térmica (W/m2)	271	176	122

Tabla 15. Resultados para las condiciones de invierno con aforo-máximo. Elaboración propia.

En este caso se pueden observar los resultados obtenidos en la estimación de la demanda térmica debida a ventilación bajo las condiciones de invierno. Pueden verse en mayor profundidad en el **anexo XII**.

En este cálculo no se está considerando una posible recuperación de calor que tendría lugar en la UTA, es decir, se es consciente de que la demanda de ventilación es importante, pero se tienen soluciones al alcance para aminorarla como es el uso de los recuperadores de calor. Es importante destacar, que para que dicha recuperación de calor sea efectiva, y por tanto el ahorro energético que ello conlleva, la ventilación mecánica es totalmente imprescindible.

Si se analizan los resultados obtenidos se aprecia que la carga térmica de ventilación en las condiciones de verano se mueve entre unos rangos muy amplios. El valor medio de 64 W/m<sup>2</sup> que se ha calculado para el edificio Agustín Betancourt es insuficiente si se tiene en cuenta la carga de ventilación obtenida en el cálculo. Es necesario aminorar notablemente dicha demanda de ventilación mediante la instalación de recuperadores de calor.

AFORO	COVID	NORMAL	MÁXIMO
Límite inferior y superior del rango de carga de ventilación	10-112 W/m <sup>2</sup>	15-171 W/m <sup>2</sup>	36-410 W/m <sup>2</sup>

Tabla 16. Rangos en los que se mueve la carga de ventilación en condiciones de verano. Elaboración propia.

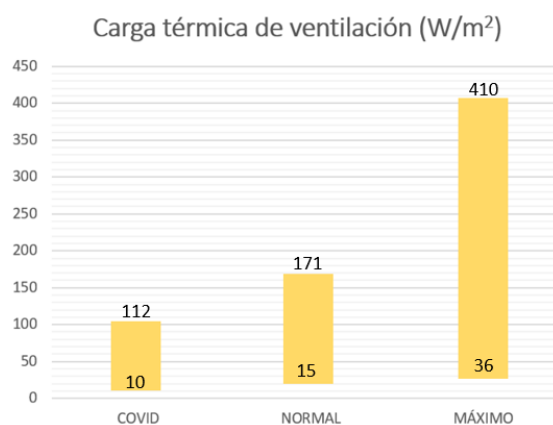


Tabla 17. Carga térmica demanda debido a ventilación para las condiciones de verano. Elaboración propia.

En la siguiente tabla se observa la variación que experimenta la carga térmica de ventilación por cada grado que aumenta la temperatura exterior en verano.

AFORO	COVID	NORMAL	MÁXIMO
<b>Carga de ventilación por cada grado que aumenta la Tº ext. en verano</b>	8-10 W/m <sup>2</sup>	13-15 W/m <sup>2</sup>	34 W/m <sup>2</sup>

Tabla 18. Variación que sufre la carga de ventilación por cada grado que se incrementa la Tº exterior en condiciones de verano. Elaboración propia.

La estimación de demanda térmica por ventilación para las condiciones de invierno, se mantiene más estable. Entre un aforo-covid y un aforo normal apenas hay variación. Donde se encuentra un mayor incremento de la demanda térmica debida a la ventilación es en el aforo máximo, el cual triplica a las anteriores condiciones. Se debe tener en cuenta que el aforo aumenta considerablemente en las condiciones de ocupación máxima.

AFORO	COVID	NORMAL	MÁXIMO
<b>Carga de ventilación por cada grado que aumenta la Tº ext. en invierno</b>	4 W/m <sup>2</sup>	5 W/m <sup>2</sup>	14 W/m <sup>2</sup>

Tabla 19. Variación que sufre la carga de ventilación con la temperatura en condiciones de invierno. Elaboración propia.

AFORO	COVID	NORMAL	MÁXIMO
<b>Límite inferior y superior del rango de carga de ventilación</b>	33-74 W/m <sup>2</sup>	51-113 W/m <sup>2</sup>	122-271 W/m <sup>2</sup>

Tabla 20. Rangos en los que se mueve la carga de ventilación en condiciones de invierno. Elaboración propia.

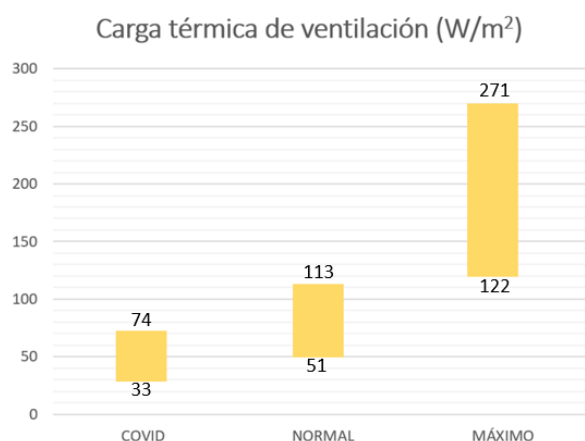


Tabla 21. Carga térmica demanda debido a ventilación para las condiciones de invierno. Elaboración propia.

El intervalo en el que se mueve la demanda térmica debida a ventilación en las condiciones de invierno es más pequeño y razonable respecto de las condiciones de verano. En esta aula se tiene colocado un fan coil con una potencia calorífica de 43 kW (**Anexo V**), esto significa que puede demandar una carga en el modo de calefacción del orden de 287 W/m<sup>2</sup>. Se puede observar según la estimación que se ha realizado anteriormente, y sin tener en cuenta el resto de cargas como pueden ser la transmisión por cerramientos, que la carga de ventilación en condiciones de invierno tiene la suficiente potencia instalada en el aula para ventilar adecuadamente el espacio y garantizar la calidad de aire adecuada.

Se ha cuantificado lo importante que es la demanda por ventilación. Esto implica intentar no ventilar por ventana, priorizando la ventilación mecánica a través del sistema de HVAC e incorporar los recuperadores de calor. Utilizando un sistema de climatización monitorizada en función del CO<sub>2</sub> y los recuperadores de calor se ahorra una enorme cantidad de energía, especialmente en edificios con ocupación muy alta y variable, como es el edificio Agustín Betancourt. [51]

Los recuperadores de calor permiten aprovechar la energía que tiene el aire de extracción y transferirla al aire nuevo que se toma del exterior. [18] Se pueden encontrar diferentes recuperadores de calor, pero los más utilizados son los recuperadores de placas y rotativos, en el **anexo IV** se ven estos equipos en mayor profundidad.

Con los recuperadores de placas se pueden obtener una eficiencia en la transferencia de energía entorno al 65% mientras que con los rotativos esta aumenta ligeramente alcanzando valores cercanos al 75% [17].

#### 4.4 Aplicación de los recuperadores de calor

Para calcular esta disminución de la demanda térmica debida a ventilación se debe tener en cuenta la eficiencia del equipo recuperador de calor. Dependiendo de dicha eficiencia el equipo será capaz de introducir el aire exterior más cerca de las condiciones de confort interiores deseadas.

$$\eta = \frac{\text{Energía real intercambiada}}{\text{Energía máxima que se podría recuperar}}$$

$$\eta = \frac{T_{12} - T_{11}}{T_{21} - T_{11}} \rightarrow T_{12} = T_{11} + \eta \cdot (T_{21} - T_{11})$$

Ecuación 2. Eficiencia de un recuperador de calor. Fuente: DTIE 8.01 Recuperación de energía en sistemas de climatización.

Donde:

- $T_{12}$  es la temperatura del flujo de aire que entra una vez que se ha producido la recuperación de calor.
- $T_{11}$  es la temperatura del flujo de aire que entra por primera vez al recuperador.
- $T_{21}$  es la temperatura del flujo que sale hacia el ambiente exterior.
- $T_{22}$  es la temperatura del flujo de salida tras la recuperación de calor.
- $\eta$  es la eficiencia del equipo

Para estimar el ahorro energético de estos equipos se ha elegido un recuperador de placas porque actualmente la UTA de aire primario de las aulas del edificio Agustín Betancourt está utilizando este tipo de recuperador. Para realizar dicho cálculo se asume que el recuperador se encuentra en estado estacionario, que las paredes del equipo son adiabáticas y que los caudales de entrada y salida son iguales. Se utiliza la hipótesis simplificadora de que se trata de un flujo a contracorriente.

Se debe tener en cuenta que se trata de una estimación y solo se está calculando la recuperación de calor sensible intercambiado entre el de extracción e impulsión. Si se tuviera recuperación de calor latente el calor intercambiado aumentaría y por tanto el ahorro energético sería mayor.

En el cálculo que se ha realizado anteriormente sobre la demanda de la carga térmica de ventilación se ha parametrizado la temperatura exterior, dándole tres posibles valores. Sin embargo, la temperatura del interior se ha fijado en un único valor tanto para las condiciones de invierno como de verano. Teniendo esto en cuenta, se debe recalculer la demanda de la carga de ventilación con la nueva temperatura a la que entrará el aire exterior tras haberse producido el intercambio de energía térmica en el recuperador de calor.

*Condiciones de verano*

<b>Sin recuperador</b> (Situación original)	$T_{\text{ext}} = T_{11} = 33^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{int}} = T_{21} = 26^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{ext}} = T_{11} = 28^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{int}} = T_{21} = 26^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{ext}} = T_{11} = 38^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{int}} = T_{21} = 26^{\circ}\text{C}$
<b>Con recuperador</b> (Nueva temperatura de entrada del aire de impulsión)	$T_{\text{ext}} = T_{11} = 33^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{int}} = T_{21} = 27^{\circ}\text{C}$ $T_{12} = 29^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{ext}} = T_{11} = 28^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{int}} = T_{21} = 27^{\circ}\text{C}$ $T_{12} = 27^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{ext}} = T_{11} = 38^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{int}} = T_{21} = 27^{\circ}\text{C}$ $T_{12} = 31^{\circ}\text{C}$

Tabla 22. Nueva temperatura del aire exterior en condiciones de verano. Elaboración propia.

Este cálculo se puede seguir detalladamente en el **anexo XII**.

Una vez que se ha calculado la nueva temperatura que tendrá el flujo de aire de entrada después de haber atravesado el recuperador, se puede recalculer la nueva demanda térmica debida a ventilación, de la misma manera que se ha explicado al principio de este estudio.

CONDICIONES DE VERANO			
AFORO	COVID	NORMAL	MÁXIMO
Rango de carga de ventilación <b>SIN</b> recuperadores de calor	10-112 W/m <sup>2</sup>	15-171 W/m <sup>2</sup>	36-410 W/m <sup>2</sup>
Rango de carga de ventilación <b>CON</b> recuperadores de calor	2-45 W/m <sup>2</sup>	3-68 W/m <sup>2</sup>	8-163 W/m <sup>2</sup>

Tabla 23. Tabla resumen de la carga térmica de ventilación en verano. Elaboración propia.

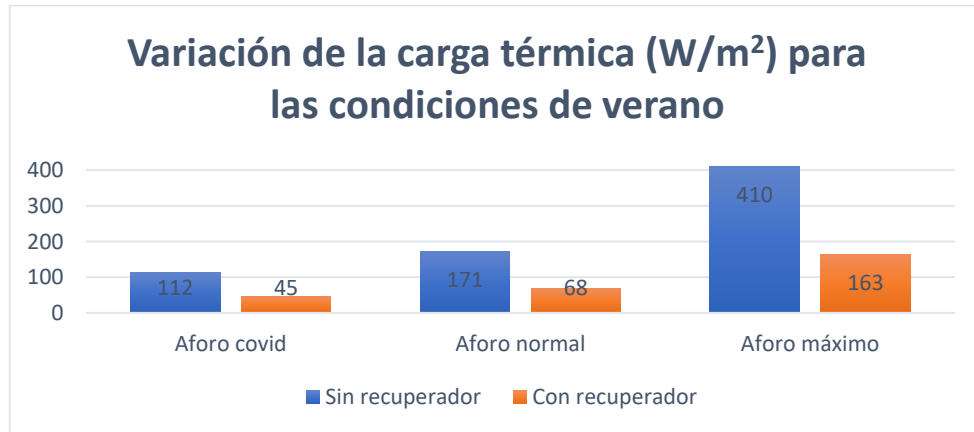


Tabla 24. Variación de la carga térmica (W/m<sup>2</sup>) en condiciones de verano. Elaboración propia.

La carga térmica por ventilación en condiciones de verano se observa que experimenta una disminución en torno al **60%** respecto a la instalación sin recuperadores de calor. Esto supone un ahorro energético enorme y reafirma la necesidad de instalar recuperadores de calor en el sistema HVAC para tender hacia una mayor eficiencia.

#### Condiciones de invierno

Sin recuperador (Situación original)	$T_{ext} = T_{11} = 8^{\circ}\text{C}$ $T_{int} = T_{21} = 21^{\circ}\text{C}$	$T_{ext} = T_{11} = 1^{\circ}\text{C}$ $T_{int} = T_{21} = 21^{\circ}\text{C}$	$T_{ext} = T_{11} = 12^{\circ}\text{C}$ $T_{int} = T_{21} = 21^{\circ}\text{C}$
Con recuperador (Nueva temperatura de entrada del aire de impulsión)	$T_{ext} = T_{11} = 8^{\circ}\text{C}$ $T_{int} = T_{21} = 22^{\circ}\text{C}$ $T_{12} = 17^{\circ}\text{C}$	$T_{ext} = T_{11} = 1^{\circ}\text{C}$ $T_{int} = T_{21} = 22^{\circ}\text{C}$ $T_{12} = 15^{\circ}\text{C}$	$T_{ext} = T_{11} = 12^{\circ}\text{C}$ $T_{int} = T_{21} = 22^{\circ}\text{C}$ $T_{12} = 18^{\circ}\text{C}$

Tabla 25. Nueva temperatura del aire exterior en condiciones de invierno. Elaboración propia.

Este cálculo se puede seguir detalladamente en el **anexo XII**.

Con estas nuevas temperaturas del flujo de aire de entrada, se recalcula la nueva carga térmica debida a la ventilación en condiciones de invierno.

CONDICIONES DE INVIERNO			
AFORO	COVID	NORMAL	MÁXIMO
Rango de carga de ventilación <b>SIN</b> recuperadores de calor	33-74 W/m <sup>2</sup>	51-113 W/m <sup>2</sup>	122-271 W/m <sup>2</sup>
Rango de carga de ventilación <b>CON</b> recuperadores de calor	11-22 W/m <sup>2</sup>	17-34 W/m <sup>2</sup>	14-81 W/m <sup>2</sup>

Tabla 26. Tabla resumen de la carga térmica de ventilación en invierno. Elaboración propia.

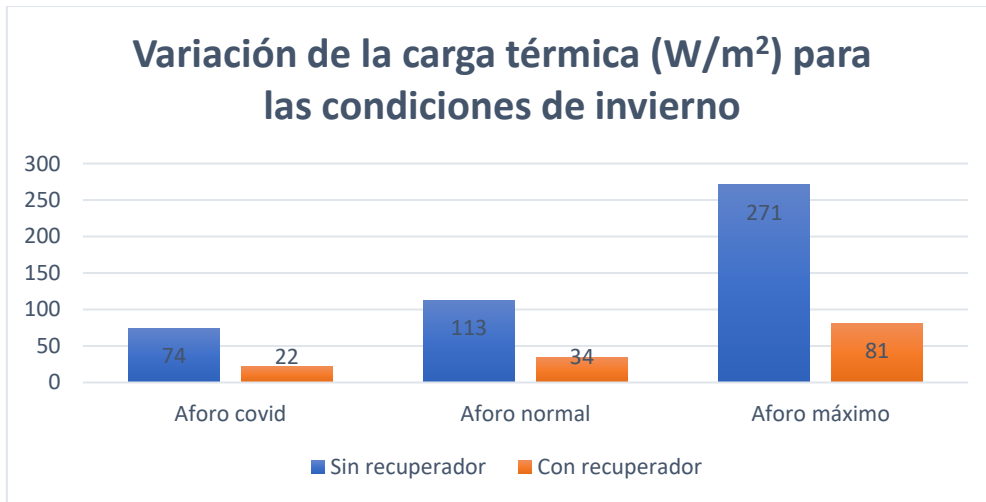


Tabla 27. Variación de la carga térmica (W/m<sup>2</sup>) en condiciones de invierno. Elaboración propia.

En estas condiciones también se aprecia una disminución considerable en la demanda térmica debida a ventilación, en torno al **70 %** respecto a una instalación que carece de recuperadores de calor.

#### 4.5 Conclusiones

En el aula 0.01 se tiene un fan coil con una potencia frigorífica de 34,8 kW y una potencia calorífica de 43 kW, esto nos proporciona unos órdenes de magnitud para las condiciones de verano de 232 W/m<sup>2</sup> y para invierno de 287 W/m<sup>2</sup>. Estos valores podrían ser suficientes para proporcionar la carga de ventilación demandada por el espacio en caso de que no hubiera recuperadores de calor instalados. Sin embargo, como se acaba de calcular, la carga de ventilación demanda disminuye considerablemente gracias al intercambio térmico que se produce en el recuperador de calor y como consecuencia, la potencia instalada puede ser suficiente en la mayoría de las situaciones. En este estudio se ha demostrado que la instalación de estos equipos permite recuperar entre el 60-70 % de la energía térmica que porta el aire de extracción, con el consiguiente ahorro energético y económico que provoca dicha recuperación cuando se utiliza exclusivamente la ventilación mecánica. En consecuencia, el uso de recuperadores de calor es esencial para la disminuir la demanda de la carga térmica debida a ventilación.

## 5. Viabilidad técnica y económica de la rehabilitación de la UTA de las aulas

### 5.1 Introducción

Durante el mes de junio del curso 2020-2021 y con la colaboración de mi compañero Javier Baselga Casas se realizó una siembra de CO<sub>2</sub> en las distintas aulas del edificio Agustín Betancourt. En primer lugar se identificaron las distintas tipologías de aulas, como se hace en el **anexo V**, y se eligió un aula de cada tipo para realizar dicho experimento.

Este consistía en colocar pellets en el aula vacía elegida, con la intención de aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> hasta alcanzar niveles en torno a 2200 ppm. El aula en todo momento se encontraba con las ventanas y puertas cerradas. Una vez llegados a ese nivel de concentración se encendía la ventilación mecánica con dos objetivos; el primero homogeneizar los niveles de CO<sub>2</sub> en todo el aula, y el segundo y más importante, observar como disminuían estos niveles gracias a la aportación de aire limpio del exterior a través de la instalación.

Observando la velocidad de descenso de la curva de concentración de CO<sub>2</sub>, se podía extraer el número de renovaciones hora de aire que se tenía en la instalación actual, además del número de personas que podrían ocupar el aula sin exponerse a ningún tipo de peligro.

Se obtuvo que el número de renovaciones hora que se tenían en la instalación no era suficiente y por tanto el caudal de aire exterior aportado por la ventilación mecánica era escaso teniendo que recurrir a la ventilación natural. Es decir, se debe abrir las ventanas para no poner en riesgo a las personas que ocupan las aulas. Esto supone un enorme malgasto energético y económico.

AULA	ACH(1/h)	V(m <sup>3</sup> )	Qv(m <sup>3</sup> /h)
1.01	1,3	415,93	540,71
1.05	1,46	261,39	381,63
2.18	1,755	211,41	371,02
3.08	1,462	549,6	803,52

Tabla 28. Resumen de las estimaciones realizadas en las aulas. Fuente: TFG Javier Baselga.

Las recomendaciones sobre ventilación en edificios de enseñanza indican que deben tener entre 5 y 6 renovaciones de aire por hora. En ninguna tipología de aula se obtiene tal valor por lo cual estos datos obtenidos son preocupantes.

Con la intención de solventar estos problemas se estudió con la colaboración de la empresa aragonesa EVAIR, una posible rehabilitación de la unidad de tratamiento de aire primario de las aulas para aumentar el caudal de impulsión de esta, y como consecuencia, el caudal de aire exterior limpio que llega a los espacios climatizados.

Se debe tener cuidado con los cambios realizados, porque al aumentar el caudal de impulsión es posible que la pérdida de carga aumente, de tal forma que no se llegue a conseguir ningún beneficio con dicha inversión. Al aumentar la pérdida de carga, el punto de operación en la curva de funcionamiento se desplazaría disminuyendo el rendimiento de dicha máquina.

### 5.2 Simulación de la instalación actual

La empresa EVAIR se encargó de simular en su software especializado la instalación actual que tenemos en el edificio Agustín Betancourt. Esta simulación puede verse en el **anexo XV**.

Según se puede ver en dicho dossier proporcionado por EVAIR la unidad de tratamiento de aire primario de las aulas actual consigue aportar un caudal teórico de aire en impulsión de 36.000 m<sup>3</sup>/h.

Modelo	Caudal [m <sup>3</sup> /h]	Velocidad Air [m/s]	Presión Externa [Pa]	Pot. Abs. [kW]	Ef. Estática (Sistema)* [%]	Config. Base Pérd. de carga * [Pa]
<b>Impulsión SMART 9.6</b>	36.000	1,88	500	20,180	62,53	314
<b>Retorno SMART 9.6</b>	27.300	1,43	500	10,390	60,9	263

Tabla 29. Resumen de las características de la UTA de las aulas actual. Fuente: EVAIR.

Sin embargo, en el estudio de la siembra de CO<sub>2</sub> se había obtenido un número de renovaciones hora muy bajo y por consiguiente, un caudal de aire en impulsión muy pequeño respecto al teórico. Por ello se decidió estimar dicho caudal de impulsión total en función de los resultados obtenidos en el estudio.

Para ello, se tomaron los valores del caudal de aire exterior de cada tipo de aula y se multiplicaron por el número de aulas que poseen esa tipología. De esta forma se puede estimar el caudal de aire exterior total que se aporta de una forma menos teórica y que se acerca más a la realidad.

AULAS	AULA TIPO	CANTIDAD DE AULAS	Qv(m <sup>3</sup> /h)	CAUDAL TOTAL SEGÚN TIPOLOGÍA (m <sup>3</sup> /h)
0.01/0.02/0.03/0.04 1.01/1.02/1.03/1.04 2.01/2.02/2.03/2.04	0.01	12	540,71	6.489
1.05/1.06/1.07/1.08/1.09 2.05/2.06/2.07/2.08/2.09	1.05	10	381,63	3.816
2.18/2.19/2.20/2.21	2.18	4	371,02	1.484
3.07/3.08/3.09	3.08	3	803,52	2.411
<b>TOTAL (m<sup>3</sup>/h)</b>				<b>14.199</b>

Tabla 30. Estimación del caudal de aire exterior total. Fuente: elaboración propia.

Se puede observar que el caudal de aire exterior estimado a partir de los resultados obtenidos con la siembra de CO<sub>2</sub> es sustancialmente menor al teórico simulado en el dossier. Se está hablando de un caudal de aire exterior real de 14.200 m<sup>3</sup>/h frente a 36.000 m<sup>3</sup>/h teóricos. De esta manera, puede entenderse el número tan bajo de renovaciones de aire por hora que se había obtenido previamente.

### 5.3 Simulación de la instalación propuesta por EVAIR

La empresa EVAIR visitó la actual unidad de tratamiento de aire primario de las aulas y se encargó de recopilar los datos necesarios para realizar una propuesta de mejora del ventilador de impulsión.

Propuso una remodelación de la UTA en la que se obtendría las siguientes prestaciones.

Modelo	Caudal [m <sup>3</sup> /h]	Velocidad Air [m/s]	Presión Externa [Pa]	Pot. Abs. [kW]	Ef. Estática (Sistema)* [%]	Config. Base Pérd. de carga * [Pa]
<b>Impulsión SMART 9.6</b>	38.000	1,99	500	22,920	65,8	426
<b>Retorno SMART 9.6</b>	28.880	1,51	500	10,960	63,24	296

Tabla 31. Resumen de las características de la UTA propuesta por EVAIR. Fuente: EVAIR.

La simulación de esta nueva unidad de tratamiento de aire primero de las aulas puede verse en detalle en el **anexo XVI**.

Como se puede observar el nuevo caudal teórico de aire exterior aportado por el nuevo ventilador aumenta hasta los 38.000 m<sup>3</sup>/h, lo cual no supone un gran aumento respecto a la instalación que se tiene actual, teniendo en cuenta el caudal teórico que debería aportar.

Sin embargo, el problema radica en que la instalación actual puede estar proporcionando un caudal de aire exterior considerablemente más bajo al teórico, como se ha calculado anteriormente y en consecuencia, si merezca técnicamente realizar la rehabilitación.

#### 5.4 Viabilidad económica de la propuesta de mejora.

Para analizar económicamente la rehabilitación de la UTA de las aulas, se necesita conocer el ahorro de energía que supondría realizar dicha inversión y cuando se recuperaría al desembolso inicial. Actualmente con el caudal de aire exterior que se está aportando a través de la ventilación mecánica no se alcanza el caudal mínimo que estipula el RITE en un edificio educativo, 12,5 l/s·persona. Como este caudal es insuficiente se debe complementar mediante la ventilación natural.

Climatizar un edificio abriendo ventanas es energéticamente muy costoso e ineficiente. Todo el aire que entra y sale por la ventana no pasa por el recuperador, por tanto no puede llevarse a cabo la recuperación térmica que disminuye la carga térmica de ventilación demandada. Toda esta energía térmica que se escapa por la ventana implica un mayor consumo eléctrico en las bombas de calor para compensar dichas pérdidas.

Para cuantificar esta energía que se está perdiendo y el ahorro que supondría aumentar el caudal de aire exterior del ventilador de la UTA debemos calcular inicialmente el caudal de aire teórico que es necesario aportar al aula. Este valor está definido en el RITE en 12,5 l/s·persona para un aula de enseñanza. [5]

El aforo se parametriza para tres condiciones distintas; por un lado se toma un aforo reducido debido a la situación de pandemia que se está viviendo actualmente. En segundo lugar se fija un aforo normal. Por último, aunque es menos probable que suceda, se toma también el aforo máximo del aula.

	Aforo Covid	Aforo normal	Aforo máximo
<b>Capacidad (personas)</b>	36	55	132
<b>Caudal teórico necesario (l/s)</b>	450	688	1650

Tabla 32. Caudal teórico necesario del aula en función del aforo. Elaboración propia.

La diferencia entre este valor y el caudal que se está aportando actualmente a través de la ventilación mecánica será la cantidad de aire exterior que se tiene que aportar a través de ventanas, el cual implica un mayor consumo eléctrico. Del estudio de la siembra de CO<sub>2</sub> se extrae el caudal de aire exterior que está llegando al aula 0.01 actualmente, 540,73 m<sup>3</sup>/h.

Para realizar este cálculo se ha elegido inicialmente una única aula de TIPO 1, se puede observar en el **anexo V**. Este cálculo de la potencia térmica pérdida por ventana se puede seguir en detalle en el **anexo XVII**.

En el estudio se diferenciara entre condiciones de verano y condiciones de invierno, de forma que para cada una de las situaciones se toman tres temperaturas exteriores distintas. En el cálculo de la carga térmica pérdida se tiene en cuenta tanto el calor sensible como latente.

### Verano

Potencia térmica (kW)	Temperatura exterior (°C)		
	28	33	38
<b>Aforo covid</b>	1	5	10
<b>Aforo normal</b>	2	9	18
<b>Aforo máximo</b>	5	26	51

Tabla 33. Potencia térmica pérdida en condiciones de verano en función del aforo. Elaboración propia.

(W/m <sup>2</sup> )	Temperatura exterior (°C)		
	28	33	38
<b>Aforo covid</b>	7	35	68
<b>Aforo normal</b>	12	63	122
<b>Aforo máximo</b>	33	175	340

Tabla 34. Potencia térmica entre superficie pérdida en condiciones de verano en el aula 0.01. Elaboración propia.

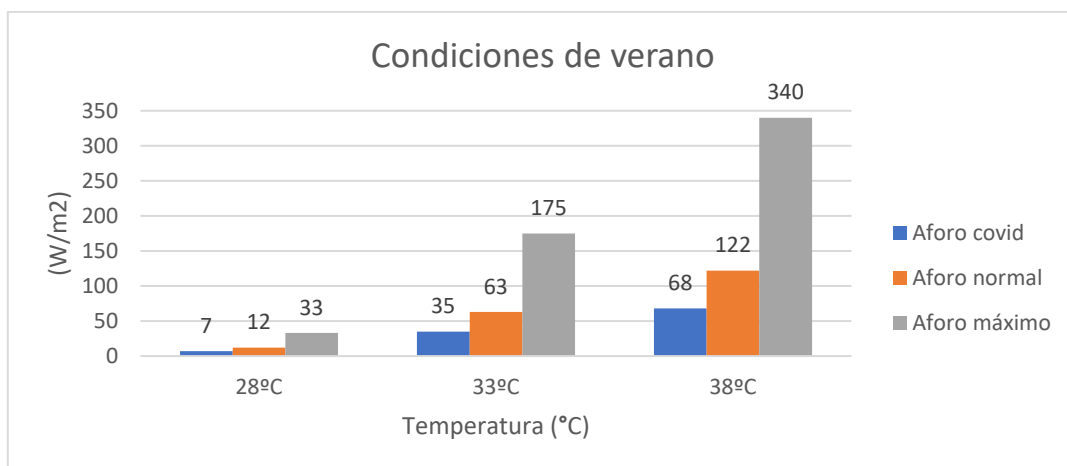


Tabla 35. Potencia térmica entre superficie pérdida en condiciones de verano en el aula 0.01. Elaboración propia.

### Invierno

Potencia térmica (kW)	Temperatura exterior (°C)		
	1	8	12
<b>Aforo covid</b>	7	5	3
<b>Aforo normal</b>	13	9	6
<b>Aforo máximo</b>	37	24	17

Tabla 36. Potencia térmica pérdida en condiciones de invierno en función del aforo en el aula 0.01. Elaboración propia.

$(W/m^2)$	Temperatura exterior ( $^{\circ}C$ )		
	1	8	12
<b>Aforo covid</b>	49	32	22
<b>Aforo normal</b>	88	57	40
<b>Aforo máximo</b>	246	160	111

Tabla 37. Potencia térmica entre superficie del aula que se pierde en condiciones de invierno. Elaboración propia.

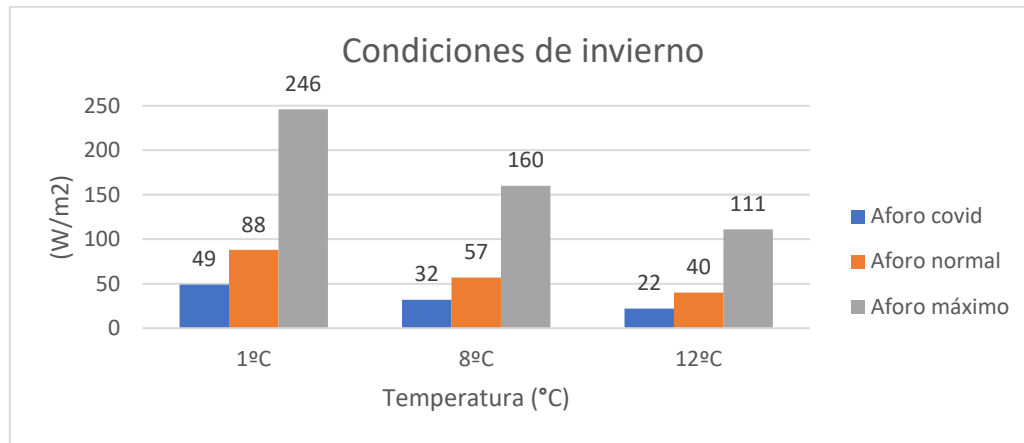


Tabla 38. Potencia térmica entre superficie pérdida en condiciones de invierno en el aula 0.01. Elaboración propia.

Obtenida la potencia térmica, se puede calcular la potencia eléctrica que se necesita para adecuar térmicamente ese caudal de aire exterior que entra por la ventana a través del coeficiente de operación (COP) de las bombas de calor. Se supone un COP de 2,2 para cuando la instalación funciona en modo calefacción y un COP de 3,75 en modo refrigeración. En el **anexo XVII** se puede seguir en detalle porque se toman estos valores de COP.

Antes de realizar dicho cálculo, se debe destacar que al inicio del presente estudio se ha parametrizado el aforo del aula en tres escenarios distintos. El aforo máximo es muy improbable que suceda. El aforo covid o reducido se ha implementado debido a la emergencia sanitaria actual del SARS-CoV-2 y es probable que una vez esté de vuelta la normalidad quede en desuso. Por tanto, se va a continuar realizando este cálculo únicamente con el aforo normal debido a que es la situación más común y que más se acerca a la realidad.

#### CONDICIONES DE INVIERNO

Temperatura exterior ( $^{\circ}C$ )	28	33	38
<b>Potencia térmica (kW)</b>	13	9	6
<b>Potencia eléctrica (kW)</b>	5,9	4,1	2,7

Tabla 39. Potencia eléctrica a partir del COP de la bomba de calor en modo calefacción. Elaboración propia.

Se puede observar que este consumo eléctrico se mueve entre valores de 5,9 y 2,7 kW en función de la temperatura exterior. Como se trata de una estimación del consumo que se tiene durante el periodo en el que la instalación trabaja en modo calefacción, de aquí en adelante se toma el valor medio de estos dos, es decir, 4,3 kW.

#### CONDICIONES DE VERANO

Temperatura exterior ( $^{\circ}C$ )	1	8	12
<b>Potencia térmica (kW)</b>	2	9	18
<b>Potencia eléctrica (kW)</b>	0,53	2,4	4,8

Tabla 40. Potencia eléctrica a partir del COP de la bomba de calor en modo refrigeración. Elaboración propia.

En este caso se tiene un consumo eléctrico entre 4,8 y 0,53 kW, dependiendo de la temperatura exterior. Se toma el valor medio de este intervalo para los cálculos posteriores, 2,7 kW.

En resumen, para el aula 0.01 se estiman unas pérdidas de potencia eléctrica en modo refrigeración de 2,7 kW y en modo calefacción de 4,3 kW. Todo este proceso puede seguirse en mayor detalle en el **anexo XVII**.

Una vez que se ha obtenido la potencia eléctrica consumida, debe llevarse a cabo una estimación de las horas de funcionamiento de la instalación de climatización para obtener la energía eléctrica consumida en las bombas de calor. Aquí debe diferenciarse entre las horas en la que la instalación funciona en modo calefacción y en modo refrigeración, este paso se razona detalladamente en el **anexo XVII**.

Calculo de la energía total pérdida en el aula 0.01:

$$\text{Energía pérdida (calefacción)} = 4,3 \text{ (kW)} \cdot 700 \text{ (h)} = 5.110 \text{ kWh} = 5,1 \text{ MWh}$$

$$\text{Energía pérdida (refrigeración)} = 2,7 \text{ (kW)} \cdot 300 \text{ (h)} = 810 \text{ kWh}$$

$$\text{Energía total pérdida} = 5.110 \text{ kWh} + 810 \text{ kWh} = 5920 \text{ kWh} = 5,92 \text{ MWh}$$

*Ecuación 3. Energía total pérdida en el aula 0.01. Elaboración propia.*

La energía obtenida en el aula 0.01 se extrapolará para el resto de aulas del edificio Agustín Betancourt a partir de unos coeficientes obtenidos en función de la superficie y aforo de las distintas tipologías de aulas respecto a la elegida inicialmente.

AULAS	AULA TIPO	CANTIDAD DE AULAS	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	AFORO (personas)	COEFICIENTE
0.01/0.02/0.03/0.04 1.01/1.02/1.03/1.04 2.01/2.02/2.03/2.04	0.01	12	150	55	1
1.05/1.06/1.07/1.08/1.09 2.05/2.06/2.07/2.08/2.09	1.05	10	78	32	0,6
2.18/2.19/2.20/2.21	2.18	4	70,5	18	0,35
3.07/3.08/3.09	3.08	3	150	55	1

*Tabla 41. Coeficientes de extrapolación según la tipología del aula. Elaboración propia.*

AULAS	AULA TIPO	CANTIDAD DE AULAS	COEFICIENTE	ENERGÍA AULA(MWh)	ENERGÍA TOTAL TIPOLOGÍA (MWh)
0.01/0.02/0.03/0.04 1.01/1.02/1.03/1.04 2.01/2.02/2.03/2.04	0.01	12	1	5,92	71,04
1.05/1.06/1.07/1.08/1.09 2.05/2.06/2.07/2.08/2.09	1.05	10	0,6	3,552	35,52
2.18/2.19/2.20/2.21	2.18	4	0,35	2,072	8
3.07/3.08/3.09	3.08	3	1	5,92	17,76
<b>TOTAL (m<sup>3</sup>/h)</b>					<b>133</b>

*Tabla 42. Energía eléctrica total consumida por las aulas del edificio Agustín Betancourt. Elaboración propia.*

Se obtiene una energía eléctrica total de 133 MWh para todas las aulas del edificio Agustín Betancourt. Este consumo se debe al esfuerzo realizado por las bombas de calor para compensar las pérdidas de energía térmica que se tienen al ventilar de forma natural.

En el momento que se ha realizado el estudio, el precio de la energía eléctrica es muy variable día a día, con numerosas subidas y bajadas. Por ello se va a tomar un valor medio, pero también

se aplicarán otros dos posibles valores de tal forma que pueda interpretarse la variabilidad existente

#### Coste económico de la energía eléctrica pérdida

<b>Precio fijado</b>	133 MWh	16,4 cent€/kWh	21.812 €
<b>Precio fijado +30%</b>	133 MWh	21,32 cent€/kWh	28.356 €
<b>Precio fijado -30%</b>	133 MWh	11,48 cent€/kWh	15.268 €

Tabla 43. Coste económico de la energía pérdida para un precio variable. Elaboración propia.

Cada uno de los pasos que se han mencionado en este apartado puede seguirse detalladamente en el **anexo XVII**.

Una vez calculado el ahorro que se obtendría llevando a cabo la rehabilitación de la UTA de las aulas se está en disposición de obtener los flujos de caja y el periodo de retorno que supondría realizar dicha inversión. El presupuesto ofrecido por la empresa EVAIR del posible proyecto es de 28.994 € (sin IVA), se puede ver detalladamente en el **anexo XVIII**.

Se obtendrán los flujos de caja para los tres posibles precios de la energía eléctrica, de tal forma que se calculan tres escenarios distintos en función del coste de dicha energía.

Para llevar a cabo este estudio económico se han tenido en cuenta varias hipótesis:

- Se considera una inflación anual del 2% para todos los conceptos a lo largo del estudio.
- La inversión inicial no se financia, sino que es pagada al principio con fondos propios.
- Tiempo del estudio de 5 años.

#### ESCENARIO 1- PRECIO FIJADO

Año	0	1	2	3	4	5
<b>ENTRADAS</b>		21.812,00 €	22.248,24 €	22.693,20 €	23.147,07 €	23.610,01 €
Ahorro anual		21.812,00 €	22.248,24 €	22.693,20 €	23.147,07 €	23.610,01 €
<b>SALIDAS</b>	35.082,74 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Inversión	28.994,00 €					
IVA inversión	6.088,74 €					
<b>FLUJO DE CAJA</b>	-35.082,74 €	21.812,00 €	22.248,24 €	22.693,20 €	23.147,07 €	23.610,01 €
Retorno	-35.082,74 €	-13.270,74 €	8.977,50 €	31.670,70 €	54.817,77 €	78.427,78 €

Tabla 44. Flujos de caja del escenario 1. Elaboración propia.

Con el precio medio fijado se observa que la inversión inicial realizada se recuperaría en el segundo año a través de lo ahorrado en energía consumida. Esto nos indica que el proyecto es muy rentable y se retorna en menos de 5 años.

#### ESCENARIO 2- PRECIO FIJADO + 30%

Año	0	1	2	3	4	5
<b>ENTRADAS</b>		28.356,00 €	28.923,12 €	29.501,58 €	30.091,61 €	30.693,45 €
Ahorro anual		28.356,00 €	28.923,12 €	29.501,58 €	30.091,61 €	30.693,45 €
<b>SALIDAS</b>	35.082,74 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Inversión	28.994,00 €					
IVA inversión	6.088,74 €					
<b>FLUJO DE CAJA</b>	-35.082,74 €	28.356,00 €	28.923,12 €	29.501,58 €	30.091,61 €	30.693,45 €
Retorno	-35.082,74 €	-6.726,74 €	22.196,38 €	51.697,96 €	81.789,58 €	112.483,02 €

Tabla 45. Flujos de caja del escenario 2. Elaboración propia.

En este escenario ocurre lo mismo que en el anterior, la inversión inicial se recupera en el segundo año pero con un mayor margen de beneficios. Esto se debe a que el ahorro económico que supone realizar dicha inversión es superior debido a que el precio de la energía eléctrica es más elevado en este caso.

*ESCENARIO 3- PRECIO FIJADO -30%*

Año	0	1	2	3	4	5
<b>ENTRADAS</b>		15.268,00 €	15.573,36 €	15.884,83 €	16.202,52 €	16.526,57 €
Ahorro anual		15.268,00 €	15.573,36 €	15.884,83 €	16.202,52 €	16.526,57 €
<b>SALIDAS</b>	35.082,74 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Inversión	28.994,00 €					
IVA inversión	6.088,74 €					
<b>FLUJO DE CAJA</b>	-35.082,74 €	15.268,00 €	15.573,36 €	15.884,83 €	16.202,52 €	16.526,57 €
Retorno	-35.082,74 €	-19.814,74 €	-4.241,38 €	11.643,45 €	27.845,97 €	44.372,55 €

*Tabla 46. Flujo de caja del escenario 3. Elaboración propia.*

En este caso la inversión se retorna en el tercer año, dado que el ahorro económico en energía eléctrica es más pequeño debido al menor valor de dicha energía. A pesar de ello, sigue siendo una inversión rentable porque se recupera en un número de años muy bajo.

## 5.5 Conclusiones

Ventilar de forma natural supone un malgasto energético y económico muy elevado. Es imposible llevar a cabo una recuperación térmica en el aire de salida para acondicionar térmicamente el aire de impulsión, provocando el aumento de la carga térmica demanda por el sistema de ventilación. Las bombas de calor deben tener un consumo de energía superior para contrarrestar las pérdidas de energía térmica que se tienen al abrir ventanas. Todo ello provoca una menor eficiencia en la instalación, además de unas condiciones de confort térmico pésimas.

Por otro lado, la instalación actual de climatización del edificio Agustín Betancourt posee una UTA que proporciona un caudal de aire insuficiente a las aulas. En este estudio ha quedado demostrado que el aire que reciben estos espacios es insuficiente para garantizar una IAQ saludable a los alumnos y profesores. Por ello se recomienda realizar la rehabilitación de dicha UTA, aumentando el caudal de impulsión, ya que se trata de una inversión altamente rentable que solucionaría los problemas expuestos en el párrafo anterior. Esta inversión, en el peor de los casos, tardaría tres años en recuperarse, pero los beneficios que se tienen a largo plazo en forma de ahorro energético son mayores.

Recalcar una vez más, que el uso de la ventilación mecánica debe ser prioritario para aumentar la eficiencia de la instalación y reducir las pérdidas energéticas y económicas. Solo se hará uso de la ventilación natural en situaciones límite o en las que no exista otra alternativa para ventilar.

## CONCLUSIONES GENERALES

### **1- RITE 2013, inspección obligatoria de la calidad de aire interior.**

Desde el 2013 el RITE (RD 238/2013 del 5 de abril) establece de carácter obligatorio la inspección de calidad de aire interior en los edificios, exceptuando las viviendas individuales. Sin embargo, en la mayoría de situaciones estas inspecciones no se llevan a cabo y no se tiene apenas control sobre la calidad de aire interior. Realizar periódicamente este tipo de inspecciones podría ser una medida efectiva para combatir la propagación del virus SARS-CoV-2.

### **2- Priorizar la ventilación mecánica respecto de la ventilación natural.**

Cuando se hace uso de la ventilación natural se tiene una alta dependencia sobre las condiciones climatológicas del exterior para ventilar de forma eficiente. Además en pocas ocasiones se podrá suministrar el caudal mínimo teórico estipulado por el RITE ya que no puede predecirse.

Con la ventilación natural no es posible realizar una recuperación de energía térmica ni el freecooling, siendo muy complicado obtener un ahorro energético y económico. No se debe olvidar que para contrarrestar las pérdidas térmicas que se tienen al abrir las ventanas, las bombas de calor deben realizar un consumo extra de energía eléctrica para acercarse a las condiciones de confort del interior, produciéndose un malgasto energético y económico enorme.

### **3- Equipos de medida de CO<sub>2</sub> instalados en el campus de la EINA.**

La instalación de estos equipos comenzó en el curso 2020-2021 pero cada vez son más los sensores que se han ido instalando con el paso del tiempo. Sin embargo, estos equipos necesitan de un mantenimiento y revisión periódico. Es por ello, que en este trabajo se ha tratado de establecer un criterio de revisión periódico para los sensores MH-Z16 y MH-Z19b y se recomienda que deberá hacerse lo mismo con cualquier otro tipo de sensor instalado. Sin embargo, estos sensores con el paso del tiempo han ido sustituyéndose por los Aranet4 Pro que ofrecen mayores ventajas en términos de fiabilidad, estabilidad o durabilidad.

A comienzos del curso 2021-2022 se ha realizado una hoja Excel actualizada con todos los sensores instalados, en la que puedan documentarse cualquier incidencia que exista, así como el motivo por el cual ha sucedido y su posterior reparación.

### **4- Sensores Aranet4 Pro**

Este tipo de sensores son los más recomendables para instalar en las distintas aulas del campus de la EINA. Se ha observado que tanto los sensores MH-Z16 y MH-Z19b con el paso del tiempo han proporcionado lecturas erróneas debido a la poca durabilidad de la batería o que necesitan una calibración periódica. Sin embargo los equipos Aranet Pro disponen de una gran precisión y facilidad de lectura instantánea a partir de una pantalla de bajo consumo que dispone el sensor. Además de eso, la durabilidad de su batería es superior respecto al resto de tipo de sensores y en caso de que esta se agote, se puede cambiar fácilmente por una nueva.

### **5- Ubicación de los sensores de CO<sub>2</sub> en las distintas aulas del edificio Agustín Betancourt**

Se recomienda que los sensores instalados en las aulas del edificio Agustín Betancourt se encuentren en el lugar adecuado para registrar la lectura de CO<sub>2</sub> más desfavorable del espacio. Encontrándose colocados en aquellos puntos de remanso en los que no llega preferentemente una corriente de aire limpio se está del lado de la seguridad.

## **6- Climatización del edificio Agustín Betancourt**

En muchas ocasiones en el edificio Agustín Betancourt se está ventilando durante un tiempo fijado pero no se tiene en cuenta si el aula está ocupada o no. Esto supone un gasto energético enorme e innecesario. Para resolver estos problemas lo adecuado sería modular dicha ventilación en función de una serie de variables que dependiendo del rango en las que estas se muevan, la ventilación aumente o disminuya automáticamente según sea necesario. Estas variables son: aforo del espacio, temperatura interior del aula y concentración de CO<sub>2</sub> en el ambiente interior.

## **7- Carga térmica demandada por ventilación**

Se ha cuantificado lo importante que es la demanda por ventilación. Esto implica intentar no ventilar por ventana, priorizando la ventilación mecánica en todo momento a través del sistema HVAC e incorporar los recuperadores de calor.

Utilizando un sistema de climatización monitorizada en función del CO<sub>2</sub> y los recuperadores de calor se ahorra una enorme cantidad de energía. Se ha estimado que la carga térmica demandada en el edificio Agustín Betancourt debido a ventilación disminuye entre el 60% y 70% al aplicar los recuperadores de calor. Los recuperadores de calor permiten recuperar gran parte de la energía térmica que porta el aire de extracción, con el consiguiente ahorro energético y económico.

## **8- UTA de las aulas en el edificio Agustín Betancourt**

Se ha obtenido a través de una siembra de CO<sub>2</sub> que el número de renovaciones hora (inferior a 2 ACH) que se tiene en la instalación no es suficiente y por tanto, el caudal de aire exterior aportado por la ventilación mecánica a las aulas es escaso teniendo que complementar cuando sea necesario con la ventilación natural.

La unidad de tratamiento de aire primario de las aulas debería aportar un caudal teórico de aire exterior en impulsión de 36.000 m<sup>3</sup>/h. Sin embargo, a partir de los datos arrojados en el estudio de la siembra de CO<sub>2</sub> se ha estimado que el caudal real que está aportando es entorno a los 14.200 m<sup>3</sup>/h. Este valor es insuficiente para tener una adecuada IAQ a través del sistema de ventilación mecánica.

## **9- Cuantificación del ahorro económico que supondría ventilar únicamente de forma mecánica**

Cuando se ventila de forma natural abriendo ventanas se está escapando una energía térmica que implica un mayor consumo eléctrico en las bombas de calor para compensar dichas pérdidas. En el edificio Agustín Betancourt se han estimado las pérdidas de energía eléctrica que se producen en todas las aulas cuando ventilamos por ventana en 133 MWh al año. En términos económicos, y dado la gran variabilidad actual del precio de la energía eléctrica, este valor puede oscilar entre 15.268 € y 28.356€ al año.

## **10- Propuesta de rehabilitación de la UTA de las aulas.**

En colaboración con la empresa EVAIR se estudió una posible remodelación de la UTA que proporciona aire primario a las aulas. En ella se aumentaba el caudal de aire limpio exterior en impulsión hasta 38.000 m<sup>3</sup>/h. Dado que se ha demostrado que actualmente dicha UTA está proporcionando un caudal de aire mucho menor al teórico, este proyecto es altamente

interesante para el campus de la EINA. Con este caudal se estaría evitando en mayor medida ventilar de forma natural.

El presupuesto que proporciono la empresa EVAIR era en torno a los 35.000€ y los ahorros que se estiman con esta remodelación pueden oscilar entre los 15.268€/año y 28.356€/año. Con estos números se realizó un flujo de cajas donde se obtuvo que el proyecto era altamente rentable ya que la inversión se recuperaría en tres años en el peor de los casos. Además los beneficios que se tienen a largo plazo en forma de ahorro energético son mucho mayores.

## LINEAS DE FUTURO

- Mantenimiento y revisión de los equipos de medida de CO<sub>2</sub> instalados en el campus de la EINA. Al mismo tiempo deberá documentarse cada incidencia u operación realizada en ellos en la hoja Excel que se ha creado en colaboración con el grupo de HowLab.
- Llevar a cabo una siembra de CO<sub>2</sub> en aquellos espacios que tienen su propia unidad de tratamiento de aire (cafetería, salón de actos, biblioteca y sala de estudios) para comprender el funcionamiento de las instalaciones de climatización.
- Hacer realidad el proyecto de rehabilitación de la UTA y cuantificar el ahorro energético real obtenido con dicha mejora.
- Crear un aula inteligente en la que la ventilación funcione únicamente en función del número de personas que la ocupan y de la concentración de CO<sub>2</sub>.
- Medir el caudal de aire exterior real que aporta la UTA de las aulas en el edificio Agustín Betancourt. Para ello se puede disponer del equipo Testo 480 con medidor de hilo caliente.
- Sustituir una parte del falso techo por placas transparentes, indicando en todo momento que es cada conducto o equipo. Con esto se pretende hacer llegar de manera visual y rápida el tipo de instalaciones que se tienen en el edificio y que al mismo tiempo pueda ser útil en el ámbito de la docencia.
- Colocar carteles informativos en cada aula indicando de si el espacio tiene aporte de aire exterior a través del sistema de climatización o carece de ello. Poner un esquema o dibujo que sirva para que los estudiantes aprendan como se climatiza y ventila el aula en la que están.

## REFERENCIAS

- [1]: de Andrés Y Rez.-Pomatta, J. A., Aroca Lastra, S., & Gallego Díez, L. (1998). *Climatización: Acondicionamiento de aire II* (3.a ed.). Fundación Escuela de la Edificación.
- [2]: Documento de Posicionamiento de ASHRAE sobre Calidad de Aire Interior (CAI). Aprobado por el Comité de Dirección (BOD) de ASHRAE 1 de julio del 2020.
- [3]: Calidad del aire interior. (Xavier Guardino Solá). Naturaleza y fuentes de contaminantes químicos. (Derrick Crump). [En línea]: <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+44.+Calidad+del+aire+interior>
- [4]: Guía de Calidad del Aire Interior, <<Observatorio de Salud y Medioambiente de Andalucía (OSMAN)>> 2019 [En línea]: [https://www.osman.es/wpcontent/uploads/2019/12/cai\\_osman.pdf](https://www.osman.es/wpcontent/uploads/2019/12/cai_osman.pdf)
- [5]: DTIE 2.07. ESTADO DEL ARTE SOBRE TRANSMISIÓN DEL VIRUS SARS-CoV-2 POR VÍA AÉREA. Edita: ATECYR. Año 2020.
- [6]: Guía de Calidad del Aire Interior, <<Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (Fenercom)>> 2016 [En línea]: <https://www.fenercom.com/wpcontent/uploads/2016/11/Guia-de-Calidad-del-Aire-Interior-fenercom-2016.pdf>
- [7]: NTP 607: Guía de calidad de aire interior. [En línea]: [https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp\\_607.pdf/0c6960b6-b461-4d21-9757-e4ea03004327](https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_607.pdf/0c6960b6-b461-4d21-9757-e4ea03004327)
- [8]: NTP 289: Síndrome del edificio enfermo: factores de riesgo. [En línea]: [https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp\\_289.pdf/7299d03d-aba7-4b06-8adb-5d5732fb5eb9](https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp_289.pdf/7299d03d-aba7-4b06-8adb-5d5732fb5eb9)
- [9]: Guía de referencia COVID. Control de contagio de covid-19 en espacios interiores compartidos. Ingenieros industriales de Aragón y La Rioja. Año 2020.
- [10]: ¿Qué es el coronavirus SARS-CoV-2? [En línea]: <https://www.clinicbarcelona.org/asistencia/enfermedades/covid-19/definicion>
- [11]: Preguntas y respuestas sobre el SARS-CoV-2 y el COVID-19. Ministerio de sanidad. [En línea]: [https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/20200224.Preguntas\\_respuestas\\_COVID-19.pdf](https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/20200224.Preguntas_respuestas_COVID-19.pdf)
- [12]: Transmisión de la COVID-19 por el aire. Video de José Luis Jiménez. [En línea]: <https://www.youtube.com/watch?v=ul8ODCxrNMU>
- [13]: DTIE 2.07 ESTADO DEL ARTE SOBRE TRANSMISIÓN DEL VIRUS SARS-CoV-2 POR VÍA AÉREA Y ESTRATEGIAS DE REDUCCIÓN DE RIESGO EN RELACIÓN A LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN. Edita: ATECYR. Año 2020.
- [14]: Unidad de Tratamiento de Aire (UTA): tipos y calidad del aire interior, <<Soler & Palau>> 2018 [En línea]: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/unidad-tratamiento-aireuta/>

[15]: ¿Qué es una Unidad de Tratamiento de Aire?, <<Systemair>> 2020 [En línea]: [https://www.systemair.com/es/noticias/blog/blog-detailview/news/que-necesito-saber-sobre-las-unidades-de-tratamiento-de-aire/?tx\\_news\\_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=2d04bf23fe12cefed60cc9f0d527a800](https://www.systemair.com/es/noticias/blog/blog-detailview/news/que-necesito-saber-sobre-las-unidades-de-tratamiento-de-aire/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=2d04bf23fe12cefed60cc9f0d527a800)

[16]: ¿Cómo funciona una Unidad de Tratamiento de Aire?, <<Systemair>> 2020 [En línea]: [https://www.systemair.com/es/noticias/blog/blog-detailview/news/como-funcionauna-unidad-de-tratamiento-deaire/?tx\\_news\\_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=4fe75d0360532f32480813b33045a93c](https://www.systemair.com/es/noticias/blog/blog-detailview/news/como-funcionauna-unidad-de-tratamiento-deaire/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=4fe75d0360532f32480813b33045a93c)

[17]: Documentos Técnicos de Instalaciones en la Edificación. DTIE 8.01. Recuperación de energía en sistemas de climatización. Edita: ATECYR.

[18]: Guía práctica sobre diseño, recomendaciones y prestaciones en Unidades de Tratamiento de Aire. EVAIR.

[19]: Recuperador de Energía aplicado a Sistemas de Aire Acondicionado, <<Ing. David Ortiz Gómez>> [En línea]: [https://passivehouseinternational.org/upload/3\\_Ventilacion\\_con\\_recuperacion\\_de\\_calor\\_y\\_energia\\_SyP.pdf](https://passivehouseinternational.org/upload/3_Ventilacion_con_recuperacion_de_calor_y_energia_SyP.pdf)

[20]: Guía Técnica: Instalaciones de Climatización por Agua, <<Atecyr & IDEA>> 2012 [En línea]: [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_18\\_Guia\\_tecnica\\_instalaciones\\_de\\_climatizacion\\_por\\_agua\\_ed78f988.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_18_Guia_tecnica_instalaciones_de_climatizacion_por_agua_ed78f988.pdf)

[21]: Catálogo Unidades fancoil, <<Daikin>> 2018 [En línea]: [https://www.daikin.com.mt/content/dam/document-library/catalogues/as/fan-coil-units/fwbbt/Fan%20Coil%20Units%20Catalogue\\_ECPE11-410\\_Catalogues\\_Spanish.pdf](https://www.daikin.com.mt/content/dam/document-library/catalogues/as/fan-coil-units/fwbbt/Fan%20Coil%20Units%20Catalogue_ECPE11-410_Catalogues_Spanish.pdf)

[22]: TFG: Caracterización de difusores de aire en locales mediante mapas de isovelocidad. Ignación Rodríguez Mortes. Universidad politécnica de Valencia. Año 2014-2015.

[23]: Sistemas de Difusión de Aire, <<Koolair>> 2012 [En línea]: <https://www.saneamientosdimasa.es/descargas/KOOLAIR%20PONENCIA%20DIFUSION.pdf>

[24]: MEDIDAS EN CENTROS UNIVERSITARIOS (versión 11-03-2021). [En línea]: [https://www.msbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/COVID19\\_Medidas\\_Centros\\_Universitarios\\_11-03-21.pdf](https://www.msbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/COVID19_Medidas_Centros_Universitarios_11-03-21.pdf)

[25]: EVALUACIÓN DEL RIESGO DE LA TRANSMISIÓN DE SARS-CoV-2 MEDIANTE AEROSOLES. [En línea]: [https://www.msbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/COVID19\\_Medidas\\_Centros\\_Universitarios\\_11-03-21.pdf](https://www.msbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/COVID19_Medidas_Centros_Universitarios_11-03-21.pdf)

[26]: Recomendaciones de actuación para la mejora de la ventilación en los sistemas de climatización y saneamiento de los centros educativos: *Introducción de datos al programa calener gt (atecyr.org)*

[27]: ERESEE 2020. Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España, <<Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana del Gobierno de España>> 2020 [En línea]: Microsoft Word - 000.docx (europa.eu)

- [28]: DTIE 17.01. Análisis económico de sistemas eficientes y cálculo de periodo de retorno de las inversiones. Edita: ATECYR. Año 2021.
- [29]: El petróleo. El recorrido de la energía, <<Consejería de Economía e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid>> 2019 [En línea]: *05 EL PETROLEO.qxd (fenercom.com)*
- [30]: Protocolo de Kyoto, <<Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)>> 1998 [En línea]: *kpspan.pdf (unfccc.int)*
- [31]: Protocolo de Kioto. Energía y desarrollo sostenible. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. [En línea]:  
<https://energia.gob.es/desarrollo/Medioambiente/CambioClimatico/Paginas/ProtocolodeKioto.aspx>
- [32]: Mecanismos de Flexibilidad del Protocolo de Kioto. Energía y desarrollo sostenible. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. [En línea]:  
<https://energia.gob.es/desarrollo/Medioambiente/CambioClimatico/Paginas/MecanismosdeFlexibilidaddelProtocolodeKioto.aspx>
- [33]: Libro de la Energía en España, <<Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico del Gobierno de España>> 2018 [En línea]: *Libro de la Energía en España 2018 (energia.gob.es)*
- [34]: Consumo de energía en España. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. [En línea]: <http://guiaenergia.idae.es/el-consumo-energia-en-espana/>
- [35]: Eficiencia energética en los edificios: es necesario insistir más en la rentabilidad, <<Tribunal de Cuentas Europeo>> 2020 [En línea]:  
[https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR20\\_11/SR\\_Energy\\_efficiency\\_in\\_buildings\\_ES.pdf](https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR20_11/SR_Energy_efficiency_in_buildings_ES.pdf)
- [36]: In the spotlight: the energy efficiency of buildings, <<Comisión Europea>> 2020 [En línea]:  
[https://ec.europa.eu/info/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-feb-17\\_es](https://ec.europa.eu/info/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-feb-17_es)
- [37]: Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020, <<Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía>> 2011 [En línea]:  
[https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11905\\_PAEE\\_2011\\_2020\\_A2011\\_A\\_a1e6383b.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11905_PAEE_2011_2020_A2011_A_a1e6383b.pdf)
- [38]: RD 1027/2007 de 20 de Julio por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios, <<Ministerio de Industria, Energía y Turismo del Gobierno de España>> 2007 [En línea]: <https://www.boe.es/boe/dias/2007/08/29/pdfs/A35931-35984.pdf>
- [39]: Ventilation Information Paper nº 38. What is smart ventilation?, <<Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC)>> 2018 [En línea]: *What is smart ventilation? (aivc.org)*
- [40]: Indoor temperature, relative humidity and CO<sub>2</sub> monitoring and air exchange rates simulation utilizing system dynamics tool for naturally ventilated classrooms. Ayesha Asif, Muhammad Zeeshan.
- [41]: Medidas de ventilación y CO<sub>2</sub> en establecimientos de hostelería. Ayuntamiento de Zaragoza.

- [42]: Página Oficial, <<sensoriZAR>> [En línea]: <https://sensorizar.unizar.es>
- [43]: Sensor MH-Z19b, <<Winsen>> 2019 [En línea]: [https://www.winsensensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z19b-co2-ver1\\_0.pdf](https://www.winsensensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z19b-co2-ver1_0.pdf)
- [44]: Página oficial de Aranet. [En línea]: <https://www.aranet4.es/pro>
- [45]: Sensor MH-Z16, <<Winsen>> 2019 [En línea]: <https://www.winsensensor.com/d/files/MH-Z16.pdf>
- [46]: Aranet4 Pro, <<Aranet>> [En línea]: <https://www.aranet4.es/product-page/aranet-4-pro>
- [47]: Página Oficial, <<Testo>> <https://www.testo.com>
- [48]: Effect of sensor position on the performance of CO<sub>2</sub>-based demand controlled ventilation. Gen Pei, Donghyun Rim, Stefano Schiavon, Matthew Vannucci.
- [49]: Hoja de características de la bomba de calor. Fabricante: CIAT. Modelo: LR 2200-2
- [50]: Oficina Verde Unizar. <https://oficinaverde.unizar.es/>
- [51]: Predicting the CO<sub>2</sub> levels in buildings using deterministic and identified models. Alexandros Panazaras, Siew Eang Lee, Mattheos Santamouris, Junjing Yang.
- [52]: Libro de Fundamentos de Climatización. Editorial: ATECYR. Segunda reedición, 2019.
- [53]: TFG de Javier Turón Blas. Auditoría energética de las bombas de calor del edificio Betancourt. Año 2019. Disponible en Zeguan.
- [54]: TFG Santiago Palos Andreu. Bomba de calor por compresión para sistemas de distrito: recopilación de equipos comercialmente disponibles y análisis de sus principales características para la simulación de sistemas. Año 2018. Disponible en Zeguan.

## ANEXOS

### ANEXO I. Origen de los contaminantes en los espacios interiores.

La contaminación en el interior tiene diferentes orígenes: los propios ocupantes que emiten CO<sub>2</sub>, los materiales inadecuados o con defectos técnicos utilizados en la construcción del edificio; el trabajo realizado en el interior; el uso excesivo o inadecuado de productos químicos, los gases de combustión; y la conjunción de contaminantes procedentes de otras zonas mal ventiladas. Debe considerarse también la contaminación procedente del exterior, como puede ser la combustión de fuentes estacionarias, procesos industriales o la combustión en fuentes móviles. [6]

La composición de aire exterior varía de un lugar a otro, en función de la presencia y la naturaleza de las fuentes de contaminación circundantes y de la dirección del viento predominante. En el aire exterior "limpio" suele hallarse la siguiente concentración de contaminantes: dióxido de carbono, 320 ppm; ozono, 0,02 ppm; monóxido de carbono, 0,12 ppm; óxido nítrico, 0,003 ppm; y dióxido de nitrógeno, 0,001 ppm. [3]

Al margen de los contaminantes generados en el exterior, en ocasiones ocurre que el aire contaminado procedente del edificio sale al exterior y penetra de nuevo a través de las entradas del sistema de aire acondicionado y ventilación.

La OMS (Organización mundial de la salud) establece unos niveles de contaminación de aire por debajo de los cuales la exposición durante un tiempo determinado no constituye un riesgo significativo para la salud. [7]

Compuesto	Punto final sobre la salud	Valor guía (µg/m <sup>3</sup> )	Tiempo de exposición
Dióxido de azufre	Cambios en la función pulmonar en asmáticos.	500	10 minutos
		125	24 horas
	Aumento de los síntomas respiratorios en individuos sensibles	50	1 año
Dióxido de nitrógeno	Ligeros cambios de la función pulmonar en asmáticos	200 (0,1 ppm)	1 hora
		40 (0,02 ppm)	1 año
Monóxido de carbono	Nivel crítico de COHb <2,5%	100.000 (90 ppm)	15 minutos
		60.000 (50 ppm)	30 minutos
		30.000 (25 ppm)	1 hora
		10.000 (10 ppm)	8 horas
Ozono	Respuestas de la función respiratoria	120	8 horas
Plomo	Nivel crítico de Pb en sangre <100-150 µg Pb/l	0,5	1 año

Tabla 47. Valores guía para "contaminantes clásicos" en el aire. Fuente: OMS

Conviene destacar el hecho de que el CO<sub>2</sub> no se considera un contaminante debido a su origen humano, pero sin embargo se usa como indicador de la calidad del aire interior para establecer el correcto funcionamiento de los sistemas de ventilación. El estándar ASHRAE 62-1989 de la American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, recomienda un límite de 1000 ppm para satisfacer los criterios de control. [8]

Las concentraciones más elevadas de este gas se suelen encontrar en el interior de los edificios debido a la generación de sus ocupantes a través de la respiración. Estas altas concentraciones de CO<sub>2</sub> pueden provocar efectos adversos para la salud.

El método de clasificación por nivel de CO<sub>2</sub>, se ha venido utilizando para el establecimiento de los estándares de ventilación cuando la contaminación es debida casi exclusivamente a los ocupantes y su actividad, en recintos donde no está permitido fumar. En este ámbito el CO<sub>2</sub> nos indica los contaminantes emitidos por los humanos y es el compuesto utilizado para el cálculo del caudal de ventilación necesario. [9]

El método directo de determinación de caudal por concentración de CO<sub>2</sub> es muy utilizado debido a su sencillez y rápida toma de decisiones. El CO<sub>2</sub> emitido por las personas que comparten un local es proporcional a los aerosoles acumulados en el aire. Este método establece concentraciones de CO<sub>2</sub> que no se pueden superar en función del uso del local. Si asumimos 400 ppm como concentración habitual del dióxido de carbono del aire exterior obtenemos los siguientes valores límite: [9]

Categoría	ppm (*)	Valores límite (**)
IDA 1	350	750 ppm
IDA2	500	900 ppm
IDA3	800	1200 ppm
IDA4	1.200	

*Tabla 48: Valores límite en la concentración de CO<sub>2</sub>. Fuente: Guía de referencia COVID. Ingenieros Industriales Aragón y La Rioja.*

## ANEXO II. Normativa de calidad de aire interior (IAQ). Ventilación.

La normativa española en cuanto a la calidad de aire interior en los edificios ha variado mucho en sus diferentes reglamentaciones. El artículo 14 del Reglamento de Instalaciones de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria (RICCACS) de 1981 especificaba que la ventilación mecánica no solo no era obligatoria, sino que, al primar las medidas de ahorro de energía, se limitaba su caudal máximo. [5]

En años posteriores debido a la concienciación sobre problemas higiénicos/sanitarios que supone la ausencia de ventilación, se decide incluir en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios (RITE) 1998 que en los lugares ocupados bajo una ventilación se considerarán los criterios de la norma UNE 100011. [5]

Como consecuencia los edificios construidos con el RICCACS 81 y RITE 1998, carecen de ventilación mecánica.

Desde la entrada en vigor del RITE 2007 la ventilación mecánica de los edificios es obligatoria. Este cambio normativo supuso un gran avance para determinar los caudales mínimos de ventilación.

En 2013 el RITE aprobaba el RD 238/2013 de 5 de abril, en el cual, la inspección de la calidad del aire interior de los edificios, exceptuando las viviendas individuales, adquiere un carácter obligatorio.

Las tasas de ventilación de diseño se calculan con un balance de masas para la concentración de contaminantes en la zona teniendo en cuenta la concentración de este en el aire exterior. Es decir, con la concentración interior deseada del contaminante y la exterior conocida, se puede determinar un caudal nominal de diseño deseado por cada contaminante. El contaminante más común utilizado para el control de los sistemas de ventilación, es el de la concentración de CO<sub>2</sub> sobre la del aire exterior, buen indicador de la ocupación real de las personas en una zona cuando no se permite fumar o no existe otro contaminante. [5]

Los edificios con bajas tasas de intercambio con el aire exterior se clasifican estancos. La ventilación de un edificio se medía en renovaciones por hora. Una renovación por hora significa que cada hora entra desde el exterior un volumen de aire igual al volumen del edificio; de la misma forma, cada hora se expulsa al exterior un volumen similar de aire interior.

Actualmente este parámetro se calcula en función del número de personas que ocupan un espacio, de manera que se asegura una alimentación de aire exterior mínimo por persona y hora. De esta forma se obtiene una mayor calidad de aire interior.

USO	CAUDALES DE VENTILACIÓN [m <sup>3</sup> /(h persona)]		
	RICCACS 1981	RITE 1998	RITE 2007
OFICINAS	25,2	36	45
SALAS REUNIONES	43,2	36	45
DOCENTES	18	28,8	45
COMERCIALES	12,6	28,8	28,8

Tabla 49. Caudales mínimos exigidos por el RITE. Fuente: DTIE 2.07

El RITE establece cuatro categorías de calidad del aire interior en función del uso de los edificios.

CATEGORIA DE LA CALIDAD DEL AIRE	METODO DETERMINACIÓN CAUDALES		
	INDIRECTO		DIRECTO
	CAUDAL AIRE DE VENTILACIÓN		CO2 (ppm)
	l/(s persona)	m3/(h persona)	Sobre aire exterior
IDA 1 (OPTIMO)	20,0	72,0	350
IDA 2 (BUENO)	12,5	45,0	500
IDA 3 (MEDIO)	8,0	28,8	800
IDA 4 (BAJO)	5,0	18,0	1.200
IDA 1: Hospitales, Clínicas, Laboratorios y Guarderías.			
IDA 2: Oficinas, Residencias, Salas de lectura, Museos, Salas de Tribunales, Aulas de Enseñanza y asimilables, y piscinas.			
IDA 3: Edificios comerciales, Teatros, Cines, Salones de Actos, Habitaciones de Hoteles y similares, Restaurantes, Cafeterías, Bares, Salas de Fiestas, Gimnasios, Locales para Deportes y salas de ordenadores			
IDA 4: NO SE DEBE APLICAR EN EDIFICIOS DE USO HABITUAL			

Tabla 50. Caudales de aire exterior mínimos dependiendo del uso de acuerdo al RITE 2013. Fuente: DTIE 2.07.

En lo que respecta al sector educativo, en España se aplica la normativa establecida por el RITE de 2013 donde a las aulas de enseñanza se les exige una categoría de calidad de aire interior IDA 2.

### ANEXO III. Estado del arte sobre transmisión del virus SARS-CoV-2 por vía aérea.

Los coronavirus son una familia de virus que normalmente afectan solo a animales. Algunos de ellos también tienen la capacidad de transmitirse de los animales a las personas lo que causa problemas respiratorios mayoritariamente de sintomatología leve.

El coronavirus SARS-CoV-2 es un nuevo tipo de coronavirus que puede afectar a las personas y que se detectó por primera vez en diciembre de 2019 en la ciudad de Wuhan, China. Mayoritariamente, en un 80% de los casos solo produce síntomas leves respiratorios. [10]

Los síntomas más comunes incluyen fiebre, tos y sensación de falta de aire. En casos más graves, la infección puede causar fuertes neumonías, generalmente estos casos ocurren en personas ancianas o que padecen alguna otra enfermedad previa. La infección es transmisible entre personas y su contagiosidad depende de la cantidad de virus en las vías respiratorias. [11]

El virus se propaga principalmente por medio de gotas respiratorias entre personas que están en contacto cercano. Esas partículas tienen diferentes tamaños, desde las más grandes (gotículas respiratorias) hasta las más pequeñas (aerosoles). [10]

Las gotículas respiratorias, se tratan de gotas grandes de saliva o fluido respiratorio que salen de las personas al hablar o al toser, comportándose como proyectiles. Estas gotitas tienen peligro si se depositan sobre la boca, ojos o nariz. En el caso de que estas partículas no lleguen a impactar sobre ninguna superficie caen al suelo debido a su propio peso. [12]

Un aerosol es una partícula sólida o líquida suspendida en el aire que se caracteriza por un tiempo de permanencia en el aire prolongado. Un bioaerosol es un aerosol o partícula de origen microbiano, vegetal o animal. Los bioaerosoles se originan en su mayor parte en eventos que realizan las personas como respirar, hablar, toser o estornudar. Estas cantidades varían de una persona a otra. Con el aire en reposo, el tiempo de sedimentación de bioaerosol depende de su tamaño. Cuanto mayor sea su tamaño, menor será el tiempo que tarde en depositarse en el suelo. EL virus SARS-CoV-2 no se propaga por el aire, sino que se vehicula en los bioaerosoles que se producen en las vías respiratorias de personas infectadas. [13]

Cuando un bioaerosol con el virus alcanza una persona receptora y entra en su sistema respiratorio, el bioaerosol se deposita en algún punto de las vías respiratorias.

El proceso de transmisión del virus SARS-CoV-2 por vía aérea comprende la generación de bioaerosoles en una persona infectada con carga vírica, su propagación por vía aérea y la sedimentación de una de estos bioaerosoles en las vías respiratorias de una persona expuesta. Esta forma de transmisión del virus es la más frecuente en espacios interiores. [13]

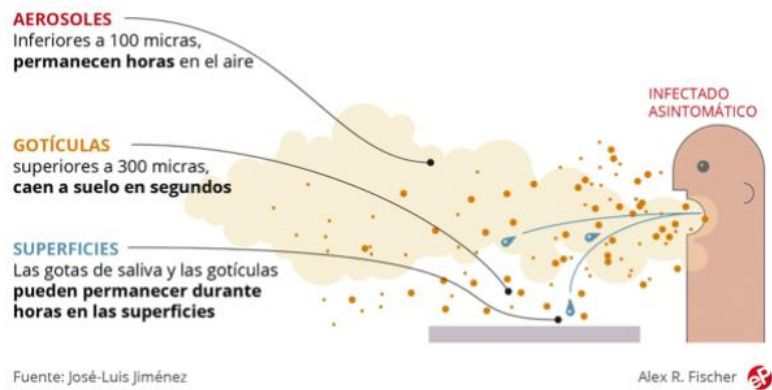


Ilustración 8. Formas de transmisión del virus SARS CoV 2. Fuente: José-Luis Jiménez.

Por último, tenemos otra forma de transmisión del virus a través del contacto directo con una superficie con Covid-19. El virus entra en contacto con cualquier parte del cuerpo, transfiriéndose a ella, de forma que si dicha parte toca boca, ojos o nariz se produciría el contagio. Para minimizar esta forma de contagio se recomienda el continuo lavado de manos. Sin embargo, este tipo de transmisión se escapa del objetivo principal de este estudio. [12]

## ANEXO IV. Equipos de un sistema de climatización.

En este anexo se van a explicar en mayor los equipos fundamentales en un sistema de climatización y sus distintos tipos. Se partirá del elemento principal en el sistema HVAC, la unidad de tratamiento de aire (UTA), y se continuará con los recuperadores de calor, difusores y fan coils.

### *Unidad de Tratamiento de Aire (UTA)*

La unidad de tratamiento de aire es el elemento principal del sistema de climatización y ventilación de un edificio. Se trata de un equipo formado por distintos elementos: intercambiadores de calor, ventiladores y filtros. Permite realizar un tratamiento integral del aire utilizado controlando distintas variables: aportación de aire exterior, filtrado, temperatura o humedad. [14]

Por lo general las UTAs se colocan en espacios cerrados en los que suele haber tránsito de gente o necesitan una gran higiene en el ambiente interior: hospitales, oficinas, centros educativos o teatros [15]. Su uso también está muy extendido para el aporte de aire de ventilación a edificios climatizados con otros sistemas sin aire primario, como por ejemplo los fancoils. [14]

No todos los recintos necesitan el mismo tipo de unidad de tratamiento de aire, dependiendo del espacio disponible se requerirá un tipo u otro:

- UTAs modulares: Tienen un tamaño muy grande. Suelen colocarse en la cubierta del edificio o en espacios destinados únicamente a este fin, pero deben tener ventilación con el exterior para el suministro y expulsión del aire.
- UTAs compactas: equipos pensados para lugares de menor espacio. Cuentan con un único módulo en el que se encuentran todos los componentes necesarios para tratar el aire. [15]



*Ilustración 9. En la izquierda una UTA modular, en la derecha UTA compacta. Fuente: Trox y Carrier.*

Las UTAs permiten la entrada de aire exterior posibilitando cumplir la función de ventilación. Al mismo tiempo que se introduce el aire exterior en la unidad, esta permite expulsar el aire contaminado que ya ha sido utilizado y llega desde el conducto de retorno. En el interior del equipo se encuentran los ventiladores de impulsión y retorno, estos elementos consiguen que haya un caudal de aire y la presión necesaria para poder transportar el aire por todo el espacio requerido.

Otro elemento a tener en cuenta en el funcionamiento de una UTA son las compuertas. Básicamente es el primer componente que se interpone en el camino del aire, ya que son el medio por el cual se produce las entradas y salidas de este elemento. [16]

El aire también se encuentra en su camino con filtros que evitan el paso al interior de las partículas del exterior. En caso de que haya recirculación será conveniente colocar filtros que eviten la propagación de los contaminantes provenientes del caudal recirculado. Es importante destacar el uso de las baterías de calor y frío que permiten adecuar la temperatura del aire que se va a introducir al interior. Las más comunes son de agua, pero también existen baterías de gas. [16]

Una parte fundamental del funcionamiento de la unidad de tratamiento de aire es el recuperador de calor o intercambiador, el cual puede ser rotativo o estático. Permite reducir el consumo de energía, ya que precalienta o preenfía el aire que viene del exterior, con eso se consigue un salto térmico menor y como consecuencia un mayor ahorro energético. Este elemento se verá más en detalle en el apartado posterior. [16]

La sección de mezcla o free-cooling situada en la aspiración de la UTA permite ajustar el aire de retorno, el aire exterior y el aire de expulsión en los porcentajes deseados [14]. El free-cooling es sin duda el líder del ahorro energético. Consiste en sustituir por aire del exterior, simplemente filtrado, el aire de retorno que se impulsa a un local refrigerado, pudiendo emplearse este sistema siempre y cuando la entalpía del aire exterior no supere a la del aire de impulsión precisado. Esto hace que se utilice el aire que se encuentra más cerca de las condiciones demandadas en el espacio a climatizar en todo momento, produciéndose un considerable ahorro energético en el proceso de atemperado. Estos sistemas son muy interesantes en espacios que demandan refrigeración durante muchas horas al año, incluso en invierno, debido a la alta carga interna de iluminación y personas. [17]

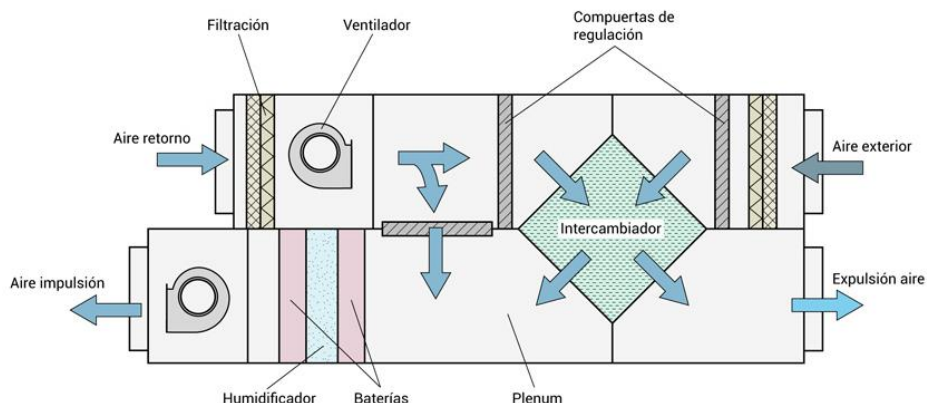


Ilustración 10. Esquema de la configuración de una UTA. Fuente: Airtècnics..

La normativa española recoge la posibilidad de los sistemas free-cooling en la IT.IC.04, donde señala: " En los sistemas de climatización del tipo todo aire, con un caudal de aire igual o superior a 3 m<sup>3</sup>/s, es obligatoria la instalación de dispositivos y controles automáticos que permitan el enfriamiento gratuito de los locales cuando la entalpía del aire exterior sea inferior a la del aire de retorno y siempre que aquel posea adecuadas características de pureza". [17]

Dependiendo de las necesidades constructivas del cliente, la disposición física de los componentes puede variar. Las UTAs más habituales son: en paralelo, en línea o a doble altura. [14]

#### Recuperador de calor

El aire interior del edificio debidamente tratado consigue tener unas condiciones térmicas e higrométricas acordes a los requisitos del local. Cuando por motivos de higiene es necesario

extraer dicho aire e introducir aire nuevo de ventilación, el Recuperador de Calor es el componente encargado de aprovechar la energía que tiene dicho aire que se extrae y transferirla al aire nuevo que se introduce. De esta manera se produce una reducción muy importante en el consumo energético necesario para acondicionar el aire nuevo desde las condiciones exteriores hasta las condiciones interiores de confort. [18]

La Directiva Europea 2009/125/CE, Reglamento 1253/2014 de ECODISEÑO establece la obligatoriedad de incorporar dicho componente a todas las unidades de climatización bidireccionales. Además, todos estos equipos deben satisfacer los requisitos de eficiencia energética especificados en el Reglamento ErP 2018 (Reglamento 1253/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se desarrolla la directiva 2009/125/CE). Dicho reglamento establece una eficiencia mínima del 73% para todos los sistemas de recuperación de calor, excepto para los móviles (doble batería recuperadora) que será del 68%. [18]

En este momento la actual directiva europea es mucho más estricta que el RITE, de manera que los recuperadores de calor incorporados en los climatizadores cumplen sobradamente el RITE. [2]

Tabla 2.4.5.1 Eficiencia de la recuperación										
Horas anuales de funcionamiento	Caudal de aire exterior (m³/s)									
	>0,5...1,5		>1,5...3,0		>3,0...6,0		>6,0...12		> 12	
	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa	%	Pa
≤ 2.000	40	100	44	120	47	140	55	160	60	180
> 2.000 ... 4.000	44	140	47	160	52	180	58	200	64	220
> 4.000 ... 6.000	47	160	50	180	55	200	64	220	70	240
> 6.000	50	180	55	200	60	220	70	240	75	260

Tabla 51. Normativa sobre eficiencia en recuperadores de calor. Fuente: RITE.

Dependiendo del tipo de calor intercambiado, los recuperadores de calor pueden ser recuperadores de calor sensible o recuperadores de calor sensible y latente, también conocidos como intercambiadores de energía. Los primeros se basan en la transferencia de temperatura entre corrientes de aire, mientras que, en los intercambiadores de energía se produce la transferencia de temperatura y humedad diferencial entre dichas corrientes de aire. [19]

En función del medio en el que se intercambia la energía se puede diferenciar entre: sistemas Aire/Aire, sistemas Aire/Líquido y sistemas Líquido/Líquido. Los más comunes son aquellos en los se transfiere la energía entre dos flujos de aire. [17]

También pueden clasificarse atendiendo a la forma en que se transfiere la energía ente ambos fluidos. En primer lugar, se encuentran los sistemas de contacto directo, en ellos se produce una mezcla física ente los dos fluidos, produciéndose la transferencia energética. En segundo lugar, aparecen los sistemas regenerativos, aquí ambos fluidos recorren un mismo espacio de forma alternada, sin coincidir entre ellos. El intercambio de calor se produce sobre la superficie del equipo. Por último, en los sistemas recuperativos la transferencia térmica se realiza a través de una superficie que separa físicamente las corrientes de ambos fluidos. [17]

Existen distintos sistemas de recuperación de calor, de los cuales, los más utilizados en aplicaciones para edificios no residenciales, son estáticos o de placas (flujos cruzados y contracorriente) y rotativos (de condensación, entálpico o de adsorción). [18]

#### RECUPERADORES DE PLACAS

Están constituidos de una carcasa de forma rectangular abierta por sus dos extremos, en cuya sección transversal tiene un conjunto de placas finas metálicas, que separan los fluidos y a través

de las cuales tiene lugar la transferencia de calor de un fluido a otro. Dentro de este tipo de recuperadores de calor podemos distinguir dos tipos:

- Recuperadores de placas de flujo cruzado: Los fluidos atraviesan el intercambiador en direcciones perpendiculares, tienen un rendimiento de transferencia de calor entorno al 65 %. [17]

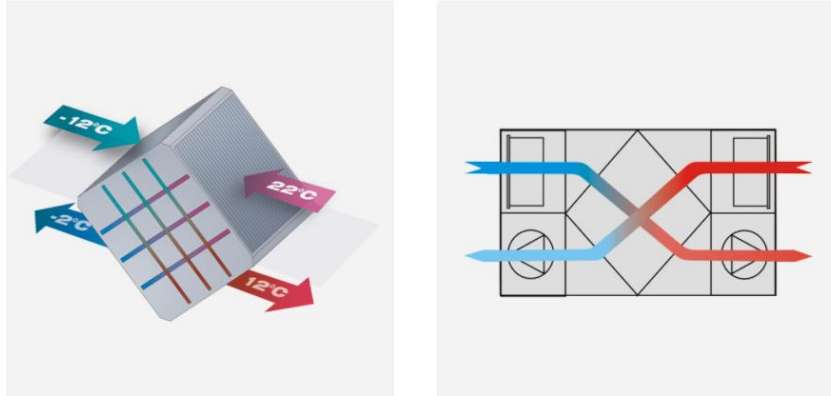


Ilustración 11. Recuperador de placas de flujo cruzado. Fuente: WOLF.

- Recuperadores de placas a contracorriente: los fluidos atraviesan el intercambiador siguiendo caminos paralelos y opuestos. El rendimiento de estos es superior al de flujo cruzado, por lo que cada vez son más usados. [17]

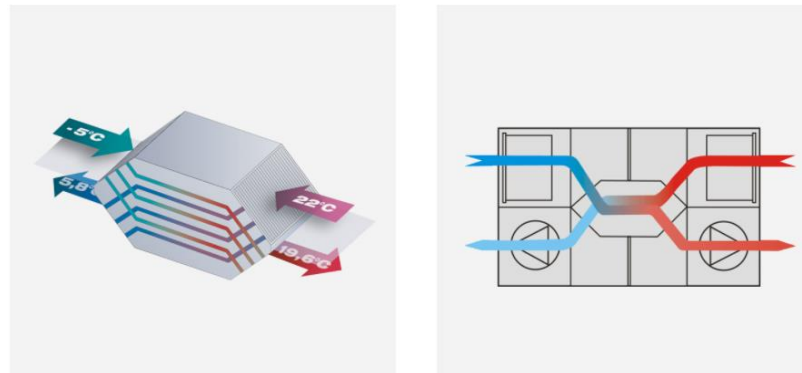


Ilustración 12. Recuperador de placas a contracorriente. Fuente: WOLF.

En los recuperadores de placas el free-cooling se realiza a través de un bypass mecánico. La compuerta que bypasa el recuperador se abre y el aire pasa por una sección paralela al recuperador sin intercambiar energía. [18]

Este sistema de recuperación es especialmente interesante en instalaciones en las cuales se quiere secar el ambiente, como es el caso de piscinas climatizadas o locales con gran carga latente. [18]

#### RECUPERADORES ROTATIVOS

Están formados esencialmente por una carcasa que contiene una rueda o tambor que gira, de material permeable al aire y caracterizado por una gran superficie de contacto resistente a la abrasión. Dos sectores separan el flujo del aire exterior del flujo de aire de extracción, mientras que el tambor, girando, es atravesado por uno u otro. Durante la rotación el tambor absorbe calor de la corriente de aire más caliente, calentándose, y lo cede sucesivamente a la corriente de aire más frío, enfriándose. Estos recuperadores poseen un rendimiento aproximadamente al 75% en la transferencia de calor. [17]

Los recuperadores de calor rotativos se pueden diferenciar según su funcionamiento en rotativo de condensación, entálpico o de adsorción.

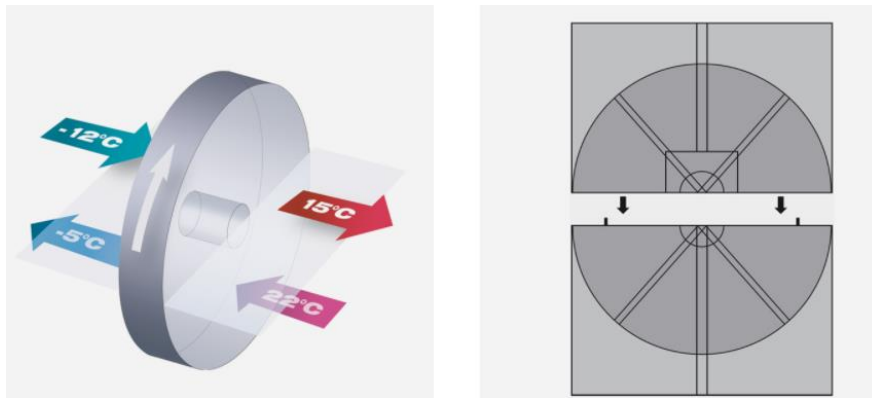


Ilustración 13. Recuperador de calor rotativo. Fuente: WOLF.

En los recuperadores de calor rotativos destaca sus distintos tipos de funcionamiento, a continuación, se van a exponer todos ellos.

#### *Recuperador Rotativo de Condensación*

Se trata de una rueda de material metálico, que gira y al pasar el aire que se extrae cede su calor a la rueda y éste es recuperado por el aire introducido. [18]

En este tipo de recuperadores, al pasar la corriente de aire frío por el intercambiador como la temperatura de aire frío está por debajo de la  $T^{\text{a}}$  de rocío del aire de extracción, se enfría la superficie de contacto por debajo de la misma y el aire de extracción al pasar condensa dejando gotitas en el recuperador. Estas gotitas son parcialmente recogidas por el aire frío cuando entra, recuperando de este modo parte del calor latente interior del edificio. [18]

Este tipo de recuperador al recuperar parte del calor latente no va a introducir el aire tan seco en invierno. Sin embargo en las condiciones de verano, este recuperador sólo va a enfriar el aire interior pero no lo va a secar, y al tener el aire exterior más humedad absoluta que el interior va a introducirla al edificio con la consiguiente pérdida de energía y de confort. [18]

#### *Recuperador Rotativo Entálpico*

Similar en aspecto al anterior, este recuperador se diferencia en que posee un recubrimiento en el interior que es capaz de absorber la humedad. [18]

Gracias a este aprovechamiento de la recuperación de calor latente, este recuperador consigue una mayor recuperación de la humedad en invierno que el anterior, consiguiendo unas condiciones interiores que pueden ser aceptables sin necesidad de humectar. [18]

Otra ventaja que se tiene en verano donde la humedad absoluta interior es mayor que la exterior, es que el aire extraído coge parte del calor latente del aire introducido secándolo de esta manera. Es decir, no sólo se consigue enfriar el aire exterior, sino que además se consigue bajar parcialmente su humedad con la ventaja que esto lleva tanto desde el punto de vista de confort como de ahorro energético. [18]

### *Recuperador Rotativo de Adsorción*

Se trata de una versión del anterior, cuya superficie ha sido tratada con un material altamente hidrométrico por adsorción. El comportamiento es similar al Entálpico, consigue unos rendimientos de recuperación latente muy superiores. [18]

Este sistema es especialmente interesante en salas con una ocupación relativamente baja en las que se quieren mantener las condiciones hidrométricas. [18]

Para realizar el free-cooling en los intercambiadores rotativos tenemos dos posibilidades: una es parando el recuperador (bypass térmico) y otra es con una compuerta de manera que el aire no pase por el recuperador (bypass mecánico). La primera opción es la más utilizada en climatizadores con recuperación de calor para el 100% de aire debido a que permite tener un tamaño de UTA mucho más razonable. [18]

Este tipo de recuperador se utiliza para locales pequeños ya que se pueden colocar en el falso techo. En cafeterías, bares, gimnasios y locales en los cuales hay mucha carga latente. [18]

La morfología del recuperador determina las dimensiones del climatizador y en ocasiones, esto hace que los recuperadores se seleccionen por su morfología en lugar de por sus prestaciones, cuya consecuencia se traduce en un malgasto energético y una pérdida de confort. [18]

### *Fan Coils*

Un fan coils se trata de un equipo agua-aire, están formados por una batería o intercambiador de frío o calor, un ventilador y un filtro. Cuentan con una carcasa exterior, con una rejilla de toma de aire y una de impulsión. Estos equipos utilizan el agua como elemento refrigerante. Reciben agua caliente o fría desde el exterior y lo hacen circular por unos tubos o serpentines. El ventilador se encarga de impulsar el aire hacia los tubos donde circula el agua, produciéndose así la transferencia de calor. Por último, el aire pasa por un filtro y sale al espacio que debe climatizar. [20]



*Ilustración 14. Fan coils tipo casete. Fuente: Systemair.*

Tienen una naturaleza compacta, que les hace ocupar muy poco espacio y los convierte en una gran alternativa. Es común encontrarlos tanto en superficies residenciales como en comercios o instalaciones terciarias. [20]

Se pueden distinguir entre fan coils de dos tubos o de cuatro tubos. La principal diferencia radica en que las unidades de cuatro tubos poseen dos tubos de impulsión y dos tubos de retorno, funcionando de forma independiente y llegando a producir frío y calor simultáneamente. Esto se traduce en un mayor confort. Sin embargo, los de dos tubos únicamente tienen un tubo de

impulsión y otro de retorno, de forma que no pueden producir frío y calor simultáneamente. Estos equipos tienen un coste inferior que los de cuatro tubos. [20]

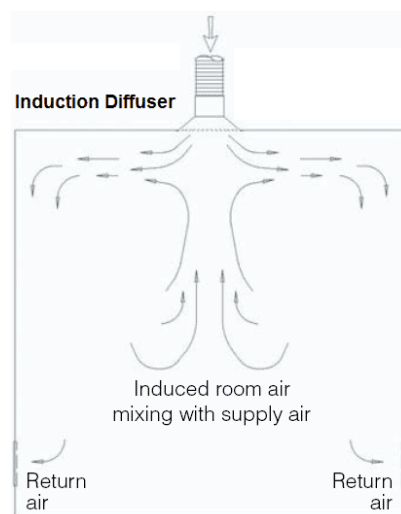
Las instalaciones de climatización más comunes en las que se colocan estos equipos son aquellas en la que una UTA impulsa el aire atemperado o no, en función de si tiene baterías instaladas, al espacio que debe climatizar y el fan coils se dimensiona para compensar las cargas térmicas del local. También se puede utilizar de forma que el aire de ventilación procedente de la UTA llegue al fan coils y mezcle el aire de ventilación con el aire del local antes de que se produzca el tratamiento térmico. [21]

### *Difusores*

En el sector de la ventilación mecánica, los difusores son aquellos paneles que se colocan en el extremo final de la entrada de aire y de la impulsión o extracción. Estos paneles reciben el aire aclimatado de una UTA o un fan coils y se encargan de distribuirlo en la estancia. [22]

Existen distintos tipos de difusores: rotacionales, radiales, lineales... Los más aconsejables son los rotacionales ya que debido al fenómeno de inducción permiten reducir la diferencia de las condiciones entre el aire ambiente y el impulsado. Además, tienen un gran alcance para grandes espacios. [23]

La inducción no es más que la cantidad de aire ambiente que arrastra la vena de aire frío que impulsa el difusor. La principal ventaja de contar con una alta inducción es que el aire impulsado se mezcla con el aire ambiente, creando un flujo de aire a una temperatura más agradable y además evita la estratificación de aire en la parte alta del espacio. [23]



*Ilustración 15. Esquema de la inducción en difusores. Fuente: Nergiza.*

Los difusores radiales impulsan el aire de manera radial, pero tienen una menor eficiencia debido a que el fenómeno de inducción es menor.

## ANEXO V. Análisis de los equipos de climatización en el Edificio Agustín Betancourt.

### *Introducción*

Para estar en disposición de mejorar la ventilación de las aulas primero hay que conocer las instalaciones de climatización de cada una de ellas. Se agrupan las aulas en función de:

- Mismo tipo de Fan Coil
- Mismo número, tipo y distribución de los difusores
- Mismo número, tipo y distribución de las rejillas de retorno
- Volumen de la clase similar

Una vez definidas las diferentes instalaciones de ventilación mecánica que se disponen en el edificio Betancourt, se buscará realizar una evaluación del funcionamiento de cada tipo.

## UTAs

En el edificio Betancourt se dispone de 4 climatizadores distintos:

Tipo de Climatizador	Aire Primario con Retorno
Caudal Ventilador de Impulsión	36000 m <sup>3</sup> /h
Potencia Ventilador de Impulsión	14,72 kW
Caudal Ventilador de Retorno	27300 m <sup>3</sup> /h
Potencia Ventilador de Retorno	9,2 kW
Potencia Total/Sensible Batería Refrigeración	281,9 / 197,33 kW
Tipo Recuperador de Calor	Placas de Flujo Cruzado
Efectividad Recuperación de Calor	0,85
Free Cooling	No

Tabla 52: UTA para la zona de aulas.

Tipo de Climatizador	Todo Aire Con Retorno
Caudal Ventilador de Impulsión	42210 m <sup>3</sup> /h
Potencia Ventilador de Impulsión	14,72 kW
Caudal Ventilador de Retorno	29520 m <sup>3</sup> /h
Potencia Ventilador de Retorno	5,52 kW
Potencia Total/Sensible Batería Refrigeración	186,6 / 130,62 kW
Potencia Batería Calefacción	200,9 kW
Free Cooling	Sí
Otros	Caudal Constante Unizona

Tabla 53. UTA para la biblioteca y sala de estudios.

Tipo de Climatizador	Todo Aire Con Retorno
Caudal Ventilador de Impulsión	20488 m <sup>3</sup> /h
Potencia Ventilador de Impulsión	7,36 kW
Caudal Ventilador de Retorno	18360 m <sup>3</sup> /h
Potencia Ventilador de Retorno	4,05 kW
Potencia Total/Sensible Batería Refrigeración	135,43 / 94,8 kW
Potencia Batería Calefacción	150,83 kW
Free Cooling	Sí
Otros	Caudal Constante Unizona

Tabla 54. UTA para la cafetería.

Tipo de Climatizador	Todo Aire Con Retorno
Caudal Ventilador de Impulsión	18000 m <sup>3</sup> /h
Potencia Ventilador de Impulsión	7,36 kW
Caudal Ventilador de Retorno	16200 m <sup>3</sup> /h
Potencia Ventilador de Retorno	2,94 kW
Potencia Total/Sensible Batería Refrigeración	125,4 / 87,78 kW
Potencia Batería Calefacción	130,65 kW
Free Cooling	Sí
Otros	Caudal Constante Unizona

Tabla 55. UTA para el salón de actos.

## Fan Coils

Se definen los tipos de Fan Coils visualizados en los planos del Edificio Betancourt y se les asigna el mismo número identificativo que tienen en ellos.

Marca	Ciat
Modelo	NCH-327
Velocidad Ventilador	3
Caudal de Aire Impulsión	500 m <sup>3</sup> /h
Peso	25 kg
Potencia Frigorífica	2,01 kW
Potencia Calorífica	3,07 kW
Potencia Consumida	41W

Tabla 56. Fan coil TIPO 1.

Marca	Ciat
Modelo	KCB-50
Velocidad Ventilador	3
Caudal de Aire Impulsión	1200 m <sup>3</sup> /h
Peso	64 kg
Potencia Frigorífica	7,6 kW
Potencia Calorífica	9,6 kW
Potencia Consumida	420 W

Tabla 57. Fan coil TIPO 6.

Marca	Ciat
Modelo	KCB-80
Velocidad Ventilador	3
Caudal de Aire Impulsión	3400 m <sup>3</sup> /h
Peso	80 kg
Potencia Frigorífica	16,6 kW
Potencia Calorífica	23,1 kW
Potencia Consumida	490 W

Tabla 58. Fan coil TIPO 7.

Marca	Ciat
Modelo	KCE-155
Velocidad Ventilador	3
Caudal de Aire Impulsión	7000 m <sup>3</sup> /h
Peso	172 kg
Potencia Frigorífica	34,8 kW
Potencia Calorífica	43 kW
Potencia Consumida	15000 W

Tabla 59. Fan coil TIPO 8.

## Difusores

Observando de nuevo los planos del edificio Betancourt, se definen los distintos tipos de Difusores que aparecen en las distintas aulas.

Aparecen dos modelos diferentes de difusores y dentro de ellos tendremos distintos tamaños.

-Modelo DQJ-SQ

-Modelo DQJ-SR

Ambos modelos disponen de una placa frontal cuadrada y una fijación estándar con montaje roscado. Se diferencian en que el modelo DQJ-SQ se caracteriza por una disposición cuadrada de las lamas mientras que las lamas del modelo DQJ-SR tienen una disposición circular. Los dos modelos funcionan con retorno por plenum.

En el edificio Betancourt tenemos los siguientes difusores:

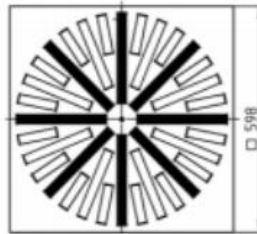


Ilustración 16. Difusor tipo 1- DQJ-SR-600.

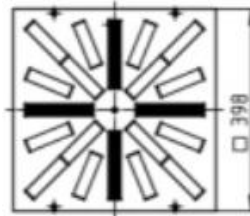


Ilustración 17. Difusor tipo 4- DQJ-SQ 400.

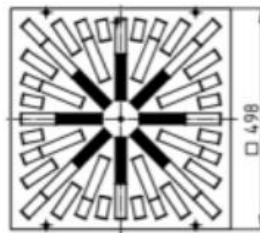


Ilustración 18. Difusor tipo 4- DQJ-SQ 500.

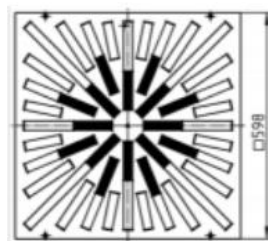


Ilustración 19. Difusor tipo 5- DQJ-SQ 600.

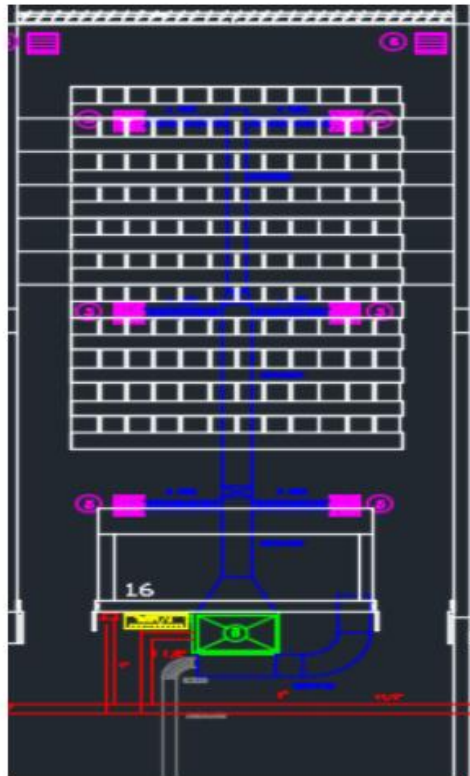


Ilustración 20. Aula Tipo 1.

El climatizador es común en todas las clases y está colocado en la misma posición. El modelo es el siguiente:

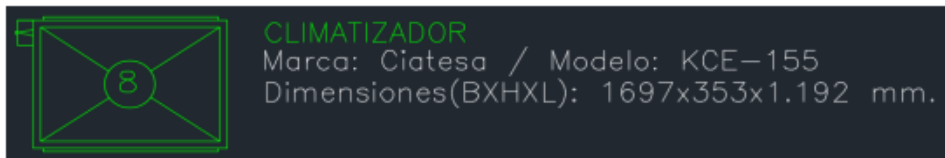


Ilustración 21. Climatizador aula tipo 1.

Se disponen 6 difusores rotacionales por clase cuyo modelo es el siguiente:



Ilustración 22. Difusor rotacional aula tipo 1.

Por último, se encuentran dos rejillas de retorno con las siguientes dimensiones:



Ilustración 23. Reja de retorno aula tipo 1.

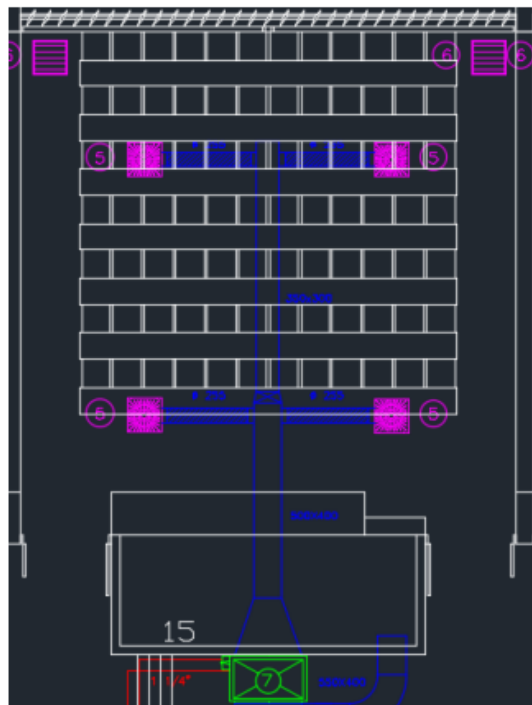


Ilustración 24. Aula tipo 2.

El climatizador es común a todas las clases y está colocado en la misma posición. El modelo es el siguiente:



Ilustración 25. Climatizador aula tipo 2.

Se disponen de 4 difusores rotacionales por clase cuyo modelo es el siguiente:



Ilustración 26. Difusor rotacional aula tipo 2.

Por último, se encuentran dos rejas de retorno con las siguientes dimensiones:



Ilustración 27. Reja de retorno aula tipo 2.

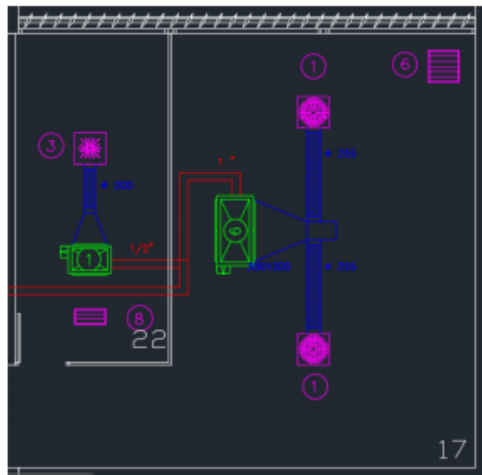


Ilustración 28. Aula 1.10

Se dispone de un climatizador del siguiente modelo:


 **CLIMATIZADOR**  
Marca: Ciatesa / Modelo: KCB-50  
Dimensiones(BXHXL): 1373x663x347 mm.

Ilustración 29. Climatizador aula 1.10

También hay un fan coil en el techo:

 **FAN-COIL TECHO**  
Marca: Ciat / Modelo : NCH-327  
Dimensiones(BXHXL): 975x235x587 mm.

Ilustración 30. Fan coil aula 1.10

Se disponen de 3 difusores rotacionales (2 del primer modelo y 1 del segundo)

 **DIFUSOR ROTACIONAL**  
Modelo : DQJ-SR 600

 **DIFUSOR ROTACIONAL**  
Modelo : DQJ-SQ 400

Ilustración 31. Difusores aula 1.10

Por último, se encuentran 2 rejillas de retorno cada una de distintas dimensiones:

 **REJA DE RETORNO**  
Dimensiones: 600X600mm.

 **REJA DE RETORNO**  
Dimensiones: 600x300 mm.

Ilustración 32. Reja de retorno aula 1.10

Aula 1.11

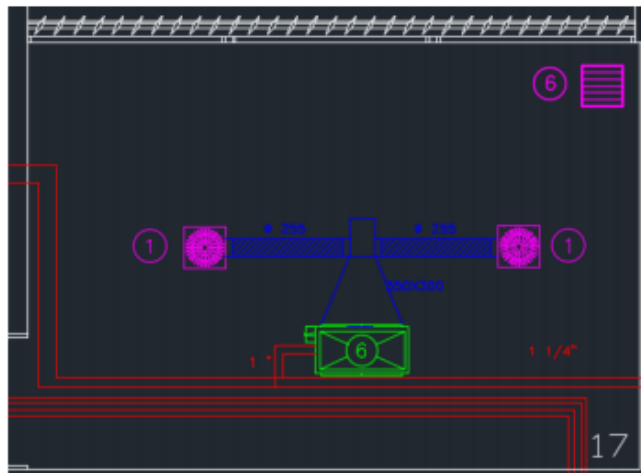


Ilustración 33. Aula 1.11

Se dispone de un climatizador del siguiente modelo:



Ilustración 34. Climatizador aula 1.11

Se disponen 2 difusores rotacionales:



Ilustración 35. Difusor aula 1.11

Por último, se encuentra una reja de retorno de las siguientes dimensiones:



Ilustración 36. Reja de retorno aula 1.11

## Biblioteca

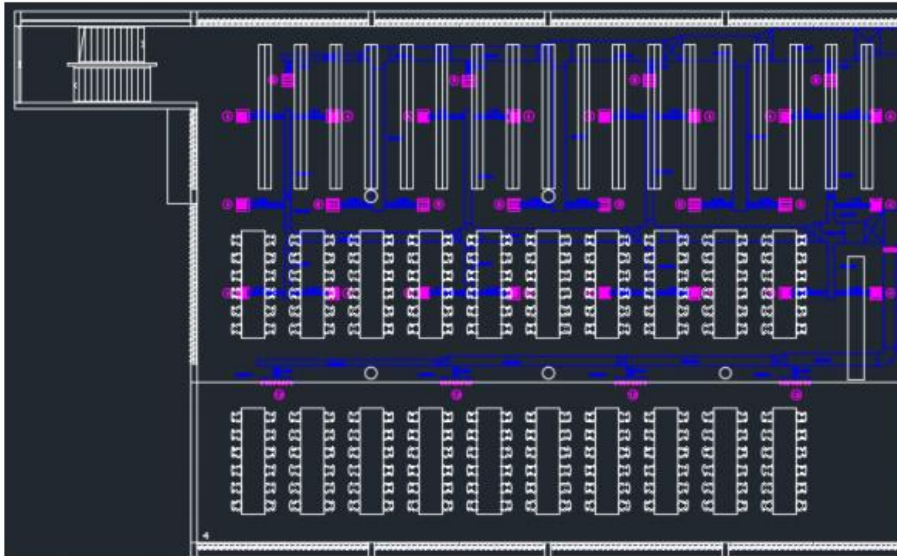


Ilustración 37. Biblioteca

Se disponen 3 toberas del siguiente modelo:



Ilustración 38. Toberas biblioteca.

Se disponen 18 difusores rotacionales cuyo modelo es el siguiente:



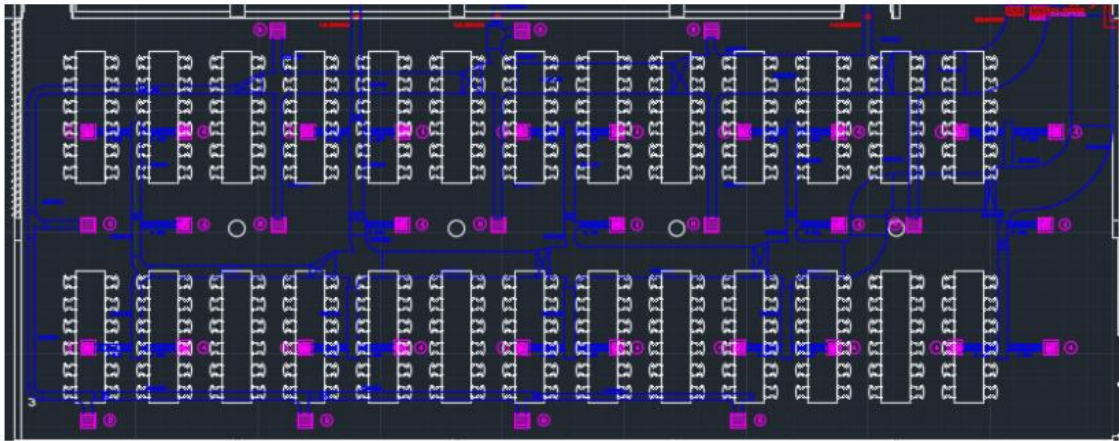
Ilustración 39. Difusor biblioteca.

Por último, se encuentran 10 rejillas de retorno con las siguientes dimensiones:



Ilustración 40. Reja de retorno biblioteca.

*Sala de Estudios Tomás Pollán*



*Ilustración 41. Sala de estudios Tomás Pollán.*

Se disponen 25 difusores rotacionales cuyo modelo es el siguiente:



*Ilustración 42. Difusor rotacional en sala de estudios.*

Por último, se encuentran 12 rejillas de retorno con las siguientes dimensiones:



*Ilustración 43. Reja de retorno en sala de estudios.*

## Pasillo P1/P2



Ilustración 44. Pasillo planta 1 y 2.

En este pasillo únicamente disponemos de 10 rejillas de extracción:



Ilustración 45. Reja de extracción P1/P2.

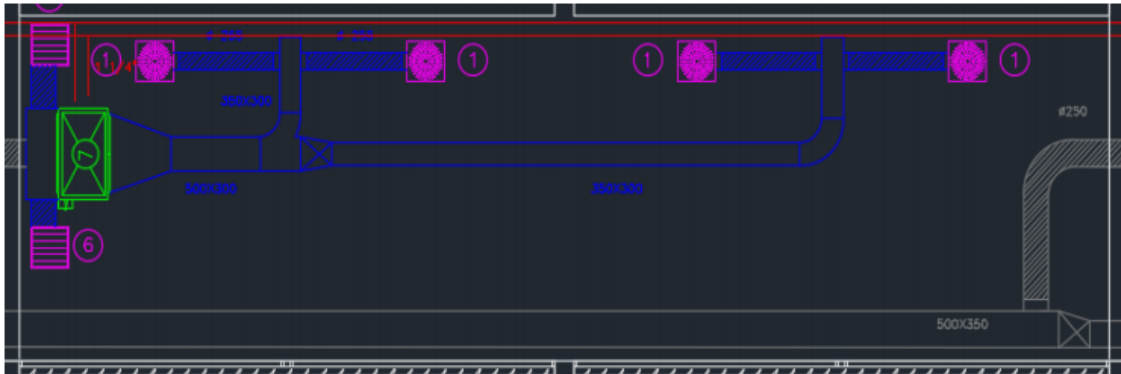


Ilustración 46. Aula tipo 3.

Se dispone de un climatizador del siguiente modelo:



Ilustración 47. Climatizador aula tipo 3.

Se disponen 4 difusores rotacionales:



Ilustración 48. Difusor rotacional aula tipo 3.

Por último, se encuentran 2 rejillas de retorno de las siguientes dimensiones:



Ilustración 49. Reja de retorno aula tipo 3.

*Tabla resumen*

Se han agrupado en función del tipo de fan coils, del tipo, número y distribuciones de difusores y rejillas de retorno, y del volumen del aula.

AULAS	Aporte aire ext.	UTA	Fancoil	Nº Difusores	Difusor	Nº rejillas retorno
0.01/0.02/0.03/0.04	SI	Tipo 1	Tipo 8	6	Tipo 5	2
1.01/1.02/1.03/1.04						
2.01/2.02/2.03/2.04						
1.05/1.06/1.07/1.08/1.09 2.05/2.06/2.07/2.08/2.09	SI	Tipo 1	Tipo 7	4	Tipo 5	2
1.10	NO	Tipo 1	Tipo 1 y tipo 6	2+1	Tipo 1+Tipo 3	2
1.11	NO	Tipo 1	Tipo 6	2	Tipo 1	1
2.18/2.19/2.20/2.21	SI	Tipo 1	Tipo 6	2	Tipo 5	1
3.07/3.08/3.09	SI	Tipo 1	Tipo 7	4	Tipo 1	2

Tabla 60. Resumen de la instalación de climatización en el Betancourt. Elaboración propia.

## ANEXO VI. Ubicación de los equipos de medida

El objetivo del presente anexo es identificar la zona más desfavorable dentro de un aula de manera que se coloque ahí el sensor de CO<sub>2</sub>, temperatura y humedad. Con ello se consigue obtener las lecturas más adversas de dichos parámetros.

Dada en la situación de emergencia sanitaria en la que nos encontramos debido por el SARS-COVID19 se prioriza obtener la lectura más desfavorable de CO<sub>2</sub> para garantizar una docencia segura en las diferentes aulas.

En el campus se identifican dos tipologías de aulas, por un lado, aquellas aulas en las que las ventanas se encuentran al fondo de la clase detrás de los alumnos y en la zona opuesta al profesor, a esta tipología se le denominará TIPO 2. Por otra parte, se tienen las aulas en las que las ventanas se encuentran en un lateral y en paralelo respecto a la ubicación de los alumnos y en la pared contraria a donde están las puertas de entrada y salida. Estas aulas son las TIPO 1.

En este anexo se hablará de las aulas TIPO 1, por tanto, para determinar la zona más adversa de esta tipología, se ha decidido realizar el estudio en el aula 3.08 del edificio Betancourt.

Se prefiere que dicho estudio se realice cuando el aula este ocupada y con la ventilación mecánica encendida, de manera que se pueda observar cómo varían los distintos niveles de CO<sub>2</sub> e identificar aquellas zonas de remanso y con una peor ventilación. Se colocan cinco sensores ARANET 4 Pro en aquellas zonas que se consideren como posible zona de mayor riesgo de concentración de CO<sub>2</sub> o con una ventilación deficiente.

En el aula 3.08 se colocaron en las siguientes zonas:

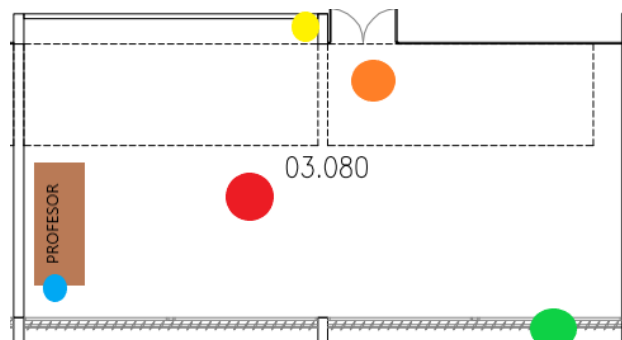


Ilustración 50. Esquema disposición de los equipos. Elaboración propia.

MEDIDOR	DESCRIPCIÓN POSICIÓN	COLOR
Aranet4 Pro 00BC1	Esquina con ventana cerrada en la zona del profesor.	Azul
Aranet4 Pro 00B50	Zona donde esta el sensor instalado	Amarelo
Aranet4 Pro 00B5B	Zona central de clase rodeado de alumnos	Rojo
Aranet4 Pro 00BAE	Esquina con ventana abierta al final de la clase sin alumnos	Verde
Aranet4 Pro 00B56	En la puerta de la clase la cual se encuentra abierta	Naranja

Tabla 61. Descripción de la posición de los equipos de medida. Elaboración propia.

Una vez que se encuentran colocados los sensores, se medirán los niveles de CO<sub>2</sub> a lo largo de una hora y se observará la tendencia que tiene cada sensor, comparando los respectivos valores. Para llevar a cabo esta medición se utiliza la base Aranel Pro, en la cual se vinculan todos los sensores referencia que se han instalado y se recogen las lecturas proporcionadas por estos. Es importante que antes de recoger la primera lectura del sensor se le dé un tiempo de

aproximadamente 10 minutos para que se estabilice con el nuevo ambiente en el que se ha colocado.

Los datos que se han obtenido son los siguientes:

MEDIDOR	MEDICIÓN 1		MEDICIÓN 2		MEDICIÓN 3		MEDICIÓN 4	
	Hora	Valor	Hora	Valor	Hora	Valor	Hora	Valor
Aranet4 Pro 00BC1	11:15	532	11:30	539	11:45	522	12:00	533
Aranet4 Pro 00B50	11:15	522	11:30	510	11:45	517	12:00	559
Aranet4 Pro 00B58	11:15	521	11:30	498	11:45	495	12:00	530
Aranet4 Pro 00BAE	11:15	501	11:30	500	11:45	505	12:00	533
Aranet4 Pro 00B56	11:15	479	11:30	486	11:45	478	12:00	520

Tabla 62. Medidas realizadas en el aula. Elaboración propia.

Observando la tabla anterior se puede ver que las medidas de CO<sub>2</sub> más desfavorables se obtienen en el sensor instalado en la zona del profesor, salvo la última medición la cual se produce en la zona que se encuentra el sensor instalado en la clase.

Esto se puede interpretar de tal forma que la zona más desfavorable de la clase si se tuvieran las ventanas cerradas sería la esquina en la que se encuentra el profesor, porque se puede apreciar que con dicha ventana cerrada ahí se concentra la mayor cantidad de CO<sub>2</sub>. Pero dada la situación de emergencia actual esa zona debería encontrarse con la ventana abierta, logrando así llegar a unos niveles de CO<sub>2</sub> más bajos y adecuados.

Si se tiene en cuenta esto último, y se asegura que todas las ventanas se encuentran abiertas como se recomienda, la zona con mayor posibilidad de tener una lectura más adversa sería aquella en la que se encuentra actualmente el sensor instalado.

Otro hecho que se ha podido apreciar a lo largo de las mediciones es que en torno a las 11:40 las contraventanas se cerraron para evitar que la luz reflejase en el proyector. Si uno se fija en la tabla de datos se puede apreciar que a partir de ese momento los sensores comienzan a aumentar los niveles de CO<sub>2</sub>. Este hecho refleja lo importante que es tener las ventanas abiertas en esta situación de emergencia cuando se carece de una ventilación mecánica adecuada.

## ANEXO VII. Ubicación de los equipos de medida (Javier Baselga Casas)

### 1. Introducción

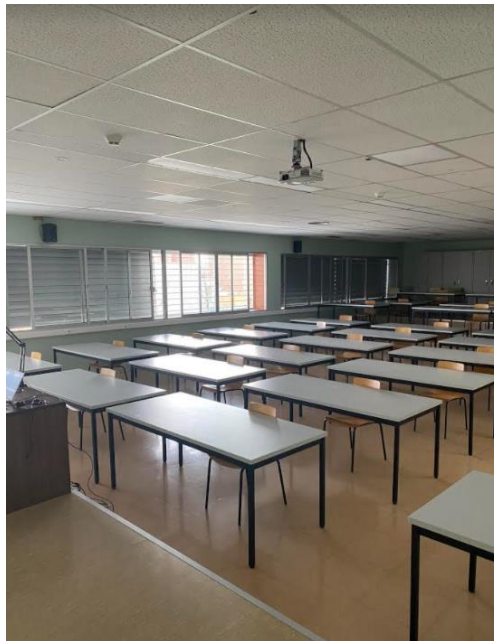
Los equipos de medición no se colocan aleatoriamente dentro de un espacio, sino que se busca el lugar más crítico que corresponde a los puntos de remanso donde no hay corrientes preferentes de aire. Es en estos puntos donde el nivel de CO<sub>2</sub> será mayor debido a la menor renovación de aire consecuencia de su ubicación.

En este estudio se trata de encontrar el punto más adecuado para colocar un equipo de medición de CO<sub>2</sub> en un aula tipo que sirva de referencia para otras aulas que compartan características como:

- Orientación
- Área de ventanas
- Disposición del aula
- Espacio
- Ubicación de las puertas
- Número de puertas

### 2.Método

El primer paso es la elección del aula a estudiar. Por un lado están las aulas donde la disposición de las ventanas es lateral con respecto a la ubicación de los alumnos y la puerta se encuentra en el lado opuesto a las ventanas en el otro lateral (Foto.1). Y por otro lado están las aulas donde las ventanas se encuentran detrás de los alumnos y en el lado opuesto, en el lado del profesor, se encuentran las puertas (Foto.2). Estas se considerarán aulas del tipo 2.





Una vez definidos los dos tipos de aula tipo en los que se pueden dividir en términos generales, el siguiente paso es elegir las aulas donde se realizaran las mediciones. Por un lado como aula tipo 1 se escoge el aula 3.08 y como aula tipo 2 se escoge el aula 0.01, ambas situadas en el edificio Betancourt.

Elegidas las aulas se colocan 5 dispositivos Aranet4 Pro en los puntos que se considera oportuno para entender la distribución de niveles de CO<sub>2</sub> dentro del aula. Este estudio se debe realizar con el aula ocupada debido a que se producirá un aumento del nivel de CO<sub>2</sub> que permitirá detectar la zona de la clase en la que el nivel de CO<sub>2</sub> es más crítico y por ende la zona más adecuada para la colocación del equipo de medición.

Se realizan medidas a lo largo de una hora en intervalos de 15 minutos con el fin de observar la evolución de los niveles de CO<sub>2</sub> en las distintas zonas. Los equipos de medición son colocados 10 minutos antes de las mediciones para que se adapten al ambiente.

Una vez tomados los valores de los equipos dispuestos en las aulas, se procede al análisis de los resultados.

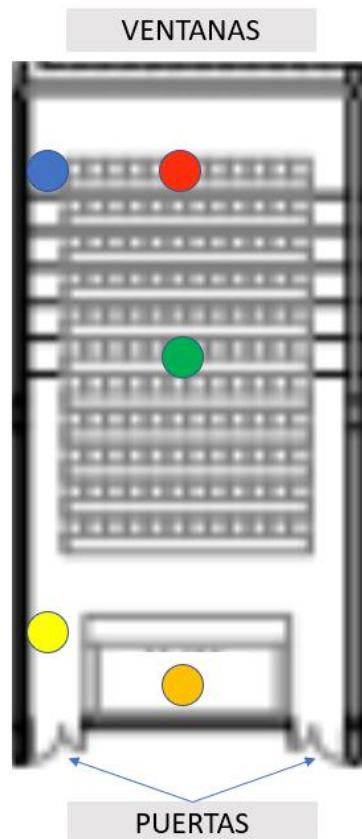
### 3.2. Aulas Tipo 2

Como aula tipo de este tipo de aulas, se tomó el aula 0.01 del Betancourt donde las condiciones del aula durante la medición eran las siguientes:

CONDICIONES DE MEDICIÓN
36 personas en clase
Ventanas parcialmente abiertas por los lados y el centro
Ventilación mecánica activada
Flujo cruzado debido a que las ventanas de la planta baja (a las que da la puerta) se encuentran abiertas

En cuanto a la disposición de los equipos de medición en el aula, se sitúan en las zonas más relevantes a estudiar teniendo en cuenta la simetría de la clase.

MEDIDOR	DESCRIPCIÓN DE POSICIÓN	COLOR
Aranet4 Pro 00BC1	Fondo de la clase en una esquina con la ventana abierta	Azul
Aranet4 Pro 00B50	A la entrada de la clase en la esquina con la puerta abierta	Amarillo
Aranet4 Pro 00B5B	Fondo de la clase en la zona central con la ventana abierta	Rojo
Aranet4 Pro 00BAE	En el centro de la clase rodeado de alumnos	Verde
Aranet4 Pro 00B56	En la zona de detrás del profesor donde está el sensor instalado	Naranja



Explicadas las condiciones de la medición y la disposición de los equipos de medición de referencia, se analizan los resultados obtenidos.

Los resultados que se obtienen a lo largo de la hora de medición, son los siguientes:

MEDIDOR	MEDICIÓN 1		MEDICIÓN 2		MEDICIÓN 3		MEDICIÓN 4		MEDIA
	Hora	Valor	Hora	Valor	Hora	Valor	Hora	Valor	
Aranet4 Pro 00BC1	10:10	473	10:25	493	10:40	505	10:55	488	489,75
Aranet4 Pro 00B50	10:10	472	10:25	469	10:40	476	10:55	461	469,5
Aranet4 Pro 00B5B	10:10	471	10:25	479	10:40	482	10:55	473	476,25
Aranet4 Pro 00BAE	10:10	480	10:25	505	10:40	489	10:55	488	490,5
Aranet4 Pro 00B56	10:10	504	10:25	498	10:40	491	10:55	491	496

Se puede observar que los valores son adecuados a pesar de la ocupación del aula debido a la ventilación mecánica además de la buena ventilación natural. La planta baja del edificio Betancourt tiene una eficiente ventilación natural cuando las ventanas y puertas del pasillo están abiertas favoreciendo la ventilación cruzada de las aulas.

Por otro lado, se puede observar que los valores más altos se obtienen en la zona de detrás del profesor donde el sensor está instalado actualmente. Por lo que se considera que la ubicación más adecuada para los sensores en las aulas del tipo 2 es en la zona detrás del profesor, donde no hay corrientes preferentes de aire.

Se considera aulas del tipo 2 en el edificio Betancourt las siguientes:

-Aula 0.01, Aula 0.02, Aula 0.03 y Aula 0.04

-Aula 1.01, Aula 1.02, Aula 1.03, Aula 1.04, Aula 1.05, Aula 1.06, Aula 1.07, Aula 1.08 y Aula 1.09

-Aula 2.01, Aula 2.02, Aula 2.03, Aula 2.04, Aula 2.05, Aula 2.06, Aula 2.07, Aula 2.08 y Aula 2.09

## ANEXO VIII. Criterio de revisión de los equipos instalados

En este anexo se tratará de encontrar un criterio que permita indicar si un equipo de medición de los que se encuentran instalados en el campus de la EINA funciona correctamente o deber ser revisado.

Se debe tener en cuenta la diferencia entre el sensor *Aranet4 Pro* y el equipo instalado, así como la tolerancia de medición del equipo *Aranet4 Pro*. La tolerancia de estos equipos es:

$$\text{Tolerancia Aronet4 Pro} = \pm(50 + 3\% \text{ Lectura})$$

Es más recomendable que un equipo de medición de CO<sub>2</sub> proporcione valores superiores a los reales, ya que únicamente supondría una sobreventilación. Sin embargo, si se tienen valores inferiores a los reales, se estará ventilando menos de lo necesario y, por tanto, se obtiene una menor calidad del aire que se respira poniendo en peligro la salud de las personas. En consecuencia, es necesario ser más restrictivo con los valores de CO<sub>2</sub> inferiores a los reales con respecto a los valores superiores.

Para determinar este margen de error permisivo que se puede adoptar en las medidas de CO<sub>2</sub> realizadas en los sensores del campus de la EINA procederemos de la siguiente forma.

Inicialmente se recogen las diferencias de las lecturas de CO<sub>2</sub> entre el sensor instalado en la ubicación requerida y el sensor de referencia (ARANET) en tablas. Para poder representarlo de una manera más clara y tener una mejor interpretación de los resultados, se agruparán estos resultados en “diferencias negativas” y “diferencias positivas”.

Diferencias negativas		Diferencias positivas	
Lugar	Diferencia	Lugar	Diferencia
Sala de estudios	-49	0.05	11
1.01	-12	0.01	95
1.02	-111	0.02	52
1.04	-111	0.03	40
Pasillo P2	-96	0.04	77
2.07	-51	2.01	218
3.08	-16	2.02	3
3.09	-90	3.07	113

Tabla 63. Diferencias positivas y negativas de las medidas realizadas. Elaboración propia.

Si se trata de representar las anteriores tablas en unas graficas de puntos, se podrá ver claramente la dispersión de las distintas medidas realizadas, a través de la cual se establecerá un límite superior e inferior que permita verificar si el sensor está funcionando correctamente o necesita un reajuste.

Como punto de partida teniendo en cuenta el valor medio (502 ppm) de todas mediciones, se puede establecer un primer criterio sobre el que estudiaremos su posible reajuste.

$$\text{Criterio inicial} = \pm(50 \text{ ó } 0.03 * 502)$$

En este caso se tomará inicialmente como limite superior e inferior  $\pm 50$ .

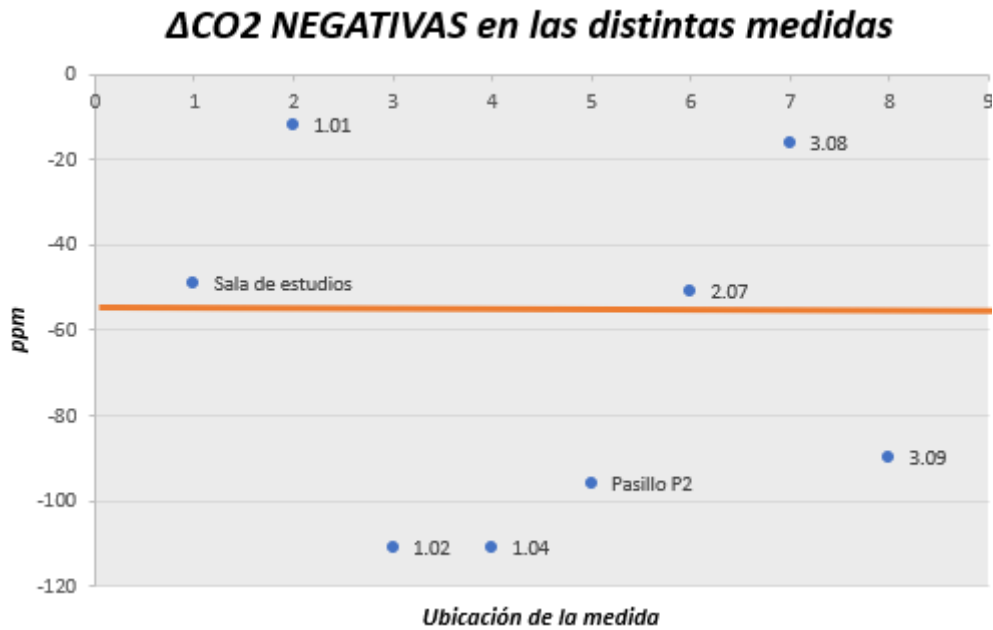


Tabla 64. Dispersión de las diferencias negativas. Elaboración propia.

Vista la dispersión que se recoge en la anterior gráfica, se pueden apreciar dos concentraciones distintas de puntos, las cuales están separadas por una franja en la que no se encuentra ninguna medida recogida. Es decir, se puede encontrar un primer tramo de puntos entre 0 ppm y aproximadamente 50 ppm, y un segundo tramo entre aproximadamente 85 ppm y 115 ppm. Se cree conveniente fijar el límite inferior permisivo de  $\text{CO}_2$  en -55 ppm.

Este límite es menos restrictivo que el establecido inicialmente. Dado que la elección del límite inicial o del que se desprende al realizar la gráfica no alteraría el número de sensores que están funcionando correctamente, no tendría sentido colocar un límite más pequeño respecto al que proporciona el fabricante. Este límite no se puede fijar en un valor demasiado bajo debido a que entonces en el aula de dicha medida se estará ventilando menos de lo necesario y por tanto poniendo en peligro a sus ocupantes.

### **$\Delta$ CO<sub>2</sub> POSITIVAS en las distintas medidas**

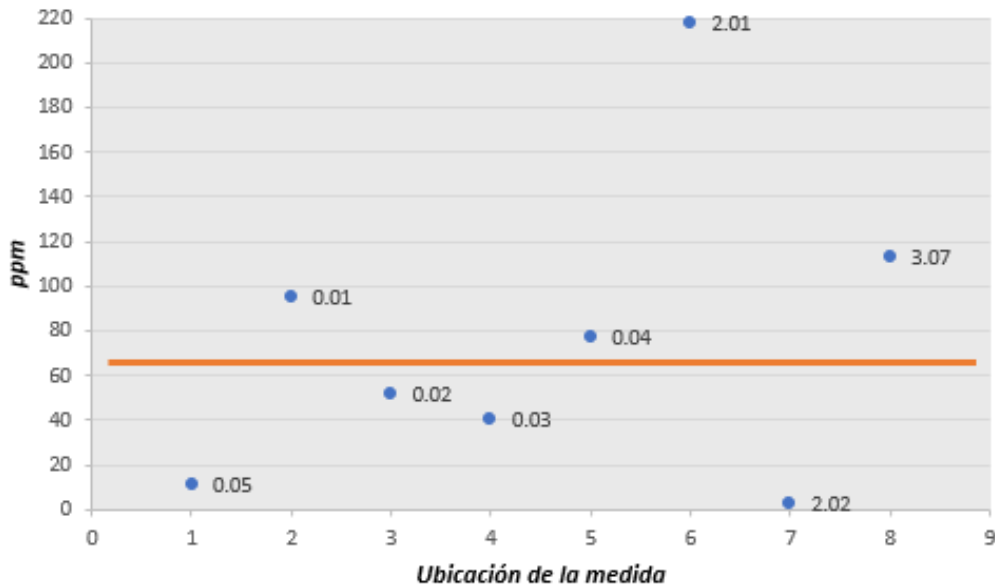


Tabla 65. Dispersión de las diferencias positivas. Elaboración propia.

Para fijar un límite superior de CO<sub>2</sub> se tiene en cuenta la gráfica inmediatamente anterior. Se puede ver que los puntos se encuentran muy concentrados desde en torno a 120 ppm a 0 ppm. Con el objetivo de fijar un límite que proporcione seguridad al aire que se respira se cree conveniente de adoptar una máxima diferencia de 65 ppm. Si se encuentra una diferencia mayor a ese valor se recomendaría la revisión del sensor instalado ya que es notablemente mayor que el de referencia.

Si se compara este criterio con el inicial en el que se ha establecido una diferencia de +50 ppm, vemos que el porcentaje de sensores aptos se mantendría, por tanto, se decide ampliar el límite superior en 15 ppm proporcionando un mayor rango de aceptación.

Otra forma de ver esta dispersión es agrupar tanto las diferencias positivas y negativas en una misma gráfica, la cual permite ver a la vez el límite superior e inferior.

### $\Delta CO_2$ en las distintas medidas

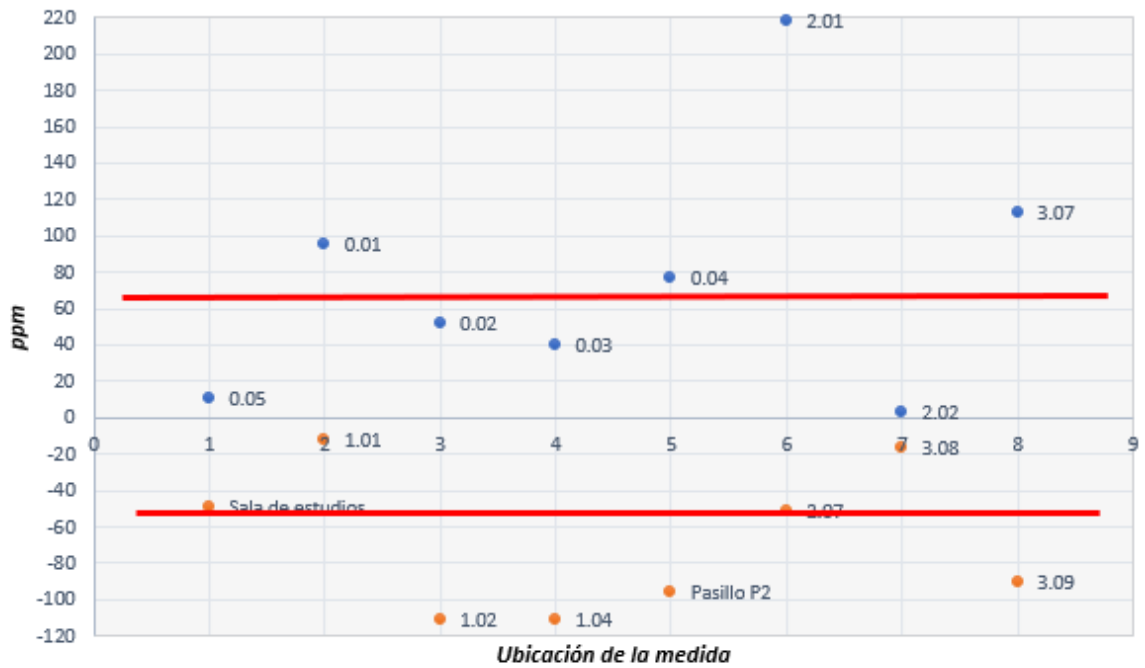


Tabla 66. Dispersión de todas diferencias de CO2. Elaboración propia.

Otra forma que puede aclarar la interpretación del objeto de estudio es el diagrama de barras, donde se pueden ver aquellas medidas que quedan lejos del margen de error permitido y las que se encuentran en su interior.

### $\Delta CO_2$ en las distintas medidas

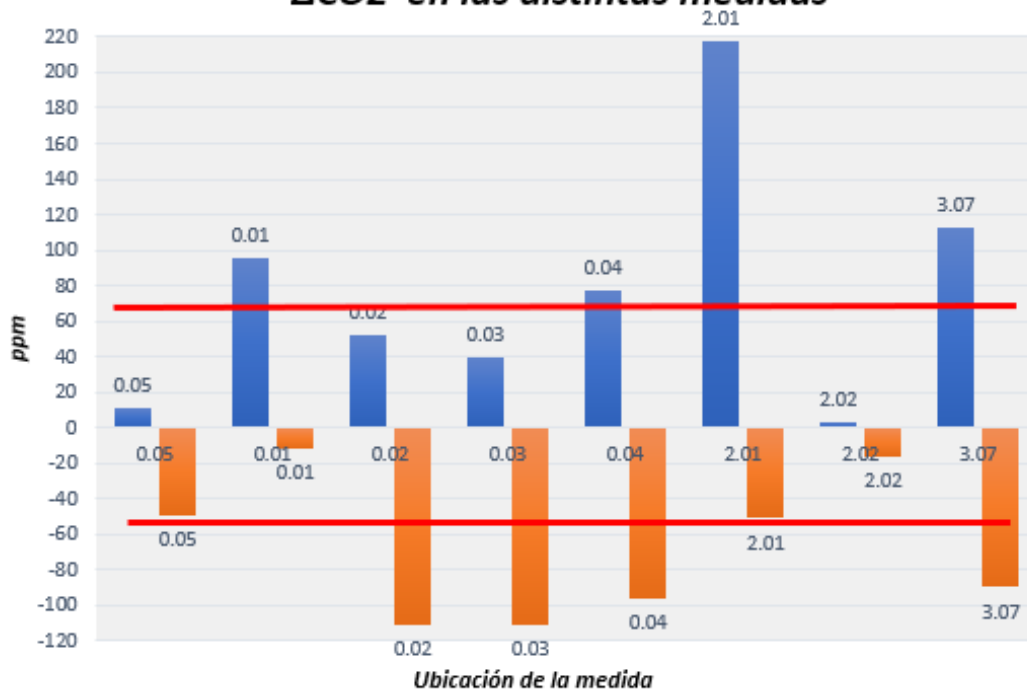


Tabla 67. Diagrama de barras de las distintas diferencias de CO2. Elaboración propia.

## *CONCLUSIÓN*

Se llega a la conclusión de que, para asegurar una buena calidad de aire en las aulas de la EINA durante la docencia presencial, se establece un margen de error permisivo en los equipos de medida que se han instalado. Este margen de error se obtendrá comparando el valor obtenido en el equipo instalado con el valor del equipo de referencia (Aranet4 Pro).

El límite superior se fija en 65 ppm por encima respecto al valor obtenido con el equipo de referencia, este valor es ligeramente superior a la tolerancia proporcionada por el fabricante.

El límite inferior se fija en -55 ppm, este valor es más restrictivo que el seleccionado en el límite superior ya que se quiere tener la seguridad de no estar ventilando un aula menos de lo necesario, es decir, se quiere evitar al máximo tener valores en los equipos instalados inferiores a los reales.

## ANEXO IX. Criterio de revisión de los equipos instalados (Javier Baselga Casas)

### INTRODUCCIÓN

La base de este estudio es poder elegir un criterio que nos sirva para indicar si un equipo de medición de los que hay instalados en las aulas de la Universidad de Zaragoza funciona correctamente o bien es necesaria una revisión del funcionamiento de dicho equipo.

Teniendo los resultados que comparan las mediciones que realizan los equipos de medición instalados y los Aranet4 Pro (“calibrados”), se calcula la diferencia de medición media entre ellos.

Teniendo en cuenta la diferencia entre el sensor Aranet4 Pro y el equipo de instalado, así como la tolerancia de medición del equipo de medición Aranet4 Pro se puede elegir el criterio más adecuado para la comprobación del correcto funcionamiento de los equipos de medición instalados.

Se estudiará la variación de equipos que funcionan correctamente o no en función del criterio que escojamos y se elegirá el que se considere el más apropiado para la situación actual.

### ELECCIÓN DE CRITERIO

Con la llegada del SARS-COVID19 y su transmisión por aerosoles, la ventilación ha adquirido una gran importancia.

Una forma de controlar la calidad del aire del ambiente es mediante la medición de los niveles de CO<sub>2</sub>. Cuanto mayor es el nivel de CO<sub>2</sub>, peor es la calidad del aire y mayores probabilidades hay de un posible contagio en caso de que haya presencia de un caso positivo en el ambiente. Esta es la razón de que la ventilación de los espacios públicos esté tendiendo a la monitorización en función del nivel de CO<sub>2</sub>.

Teniendo en cuenta esto, es más recomendable que un equipo de medición de CO<sub>2</sub> de valores por encima de los reales ya que conllevaría una mayor ventilación de la necesaria. En caso contrario ventilaríamos menos de lo necesario con el consiguiente riesgo sanitario que conlleva.

Acorde a lo explicado con anterioridad, se entiende el mayor control que se llevará sobre los valores por debajo de los valores “reales” con respecto a los valores por encima.

Teniendo en cuenta la tolerancia de los equipos Aranet4 Pro como punto de partida y el valor medio de todas las mediciones realizadas (493ppm) establecemos el primer criterio que estudiaremos.

*Tolerancia Aranet4 Pro= ±(50)*

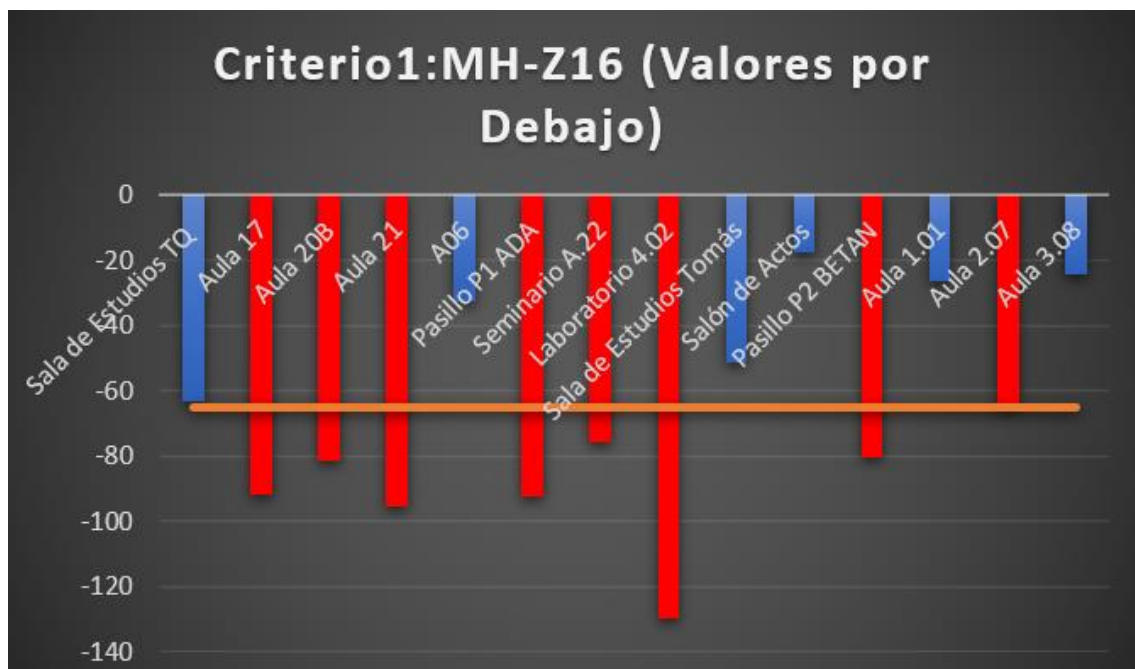
*Criterio1=±(50+3%Valor Lectura)=±(50+0.03\*493)=±65ppm*

Se estudiará este caso para cada tipo de equipo de medición instalado y en función si los valores están por encima o por debajo de los equipos de medición Aranet4 Pro.

El primer caso en el que se aplicará este criterio será para los equipos de medición de sensor MH-Z16. Primero se analizará este criterio para los valores por debajo de los equipos Aranet4 Pro y posteriormente para los valores por encima.

MH-Z16 (Diferencias Negativas)	
SENSORES RC	DIFERENCIA MEDIA
Sala de Estudios TQ	-63,5
Aula 17	-91,75
Aula 20B	-81,25
Aula 21	-95,25
A06	-32,75
Pasillo P1 ADA	-92,5
Seminario A.22	-75,75
Laboratorio 4.02	-129,5
Sala de Estudios Tomás	-51,5
Salón de Actos	-17,5
Pasillo P2 BETAN	-80,5
Aula 1.01	-26,25
Aula 2.07	-65,25
Aula 3.08	-24,25

Tabla diferencias negativas con respecto al Aranet4 Pro por parte del sensor MH-Z16



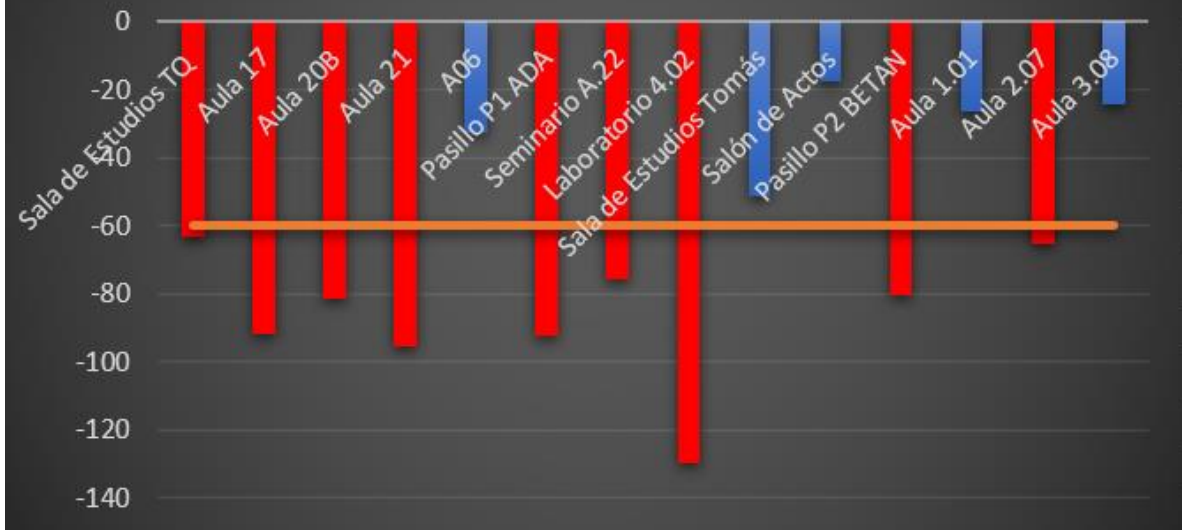
Criterio 1 aplicado a valores del sensor MH-Z16 que se encontraban por debajo de los obtenidos con Aranet4 Pro.

Se observa que, de los 14 equipos de medición, 8 equipos no estarían cumpliendo el criterio, es decir, el 57%.

Se puede ver que la mayoría de los valores que se encuentran dentro del límite establecido tienen un margen grande con respecto al mismo. Todos excepto el correspondiente a la sala de estudios Torres Quevedo ya que el límite que hemos estipulado en este criterio 1 es de +65ppm, mientras que la diferencia media del sensor instalado en esta aula es de -63,25ppm.

Observando la cercanía al valor límite y la distancia con respecto al siguiente valor más cercano al límite (Sala de Estudios Tomás → -51,25ppm) se escoge un límite de -60ppm.

## Criterio2:MH-Z16 (Valores por Debajo)



*Criterio 2 aplicado a valores del sensor MH-Z16 que se encontraban por debajo de los obtenidos con Aranet4 Pro*

En este caso se observa que, de los 14 equipos de medición, 9 equipos no estarían cumpliendo el criterio, es decir, el 64%.

Se considera este segundo criterio más apropiado en este caso ya que cuando tratemos valores por debajo de los obtenidos con los equipos Aranet4 Pro el criterio más adecuado, será el más restrictivo.

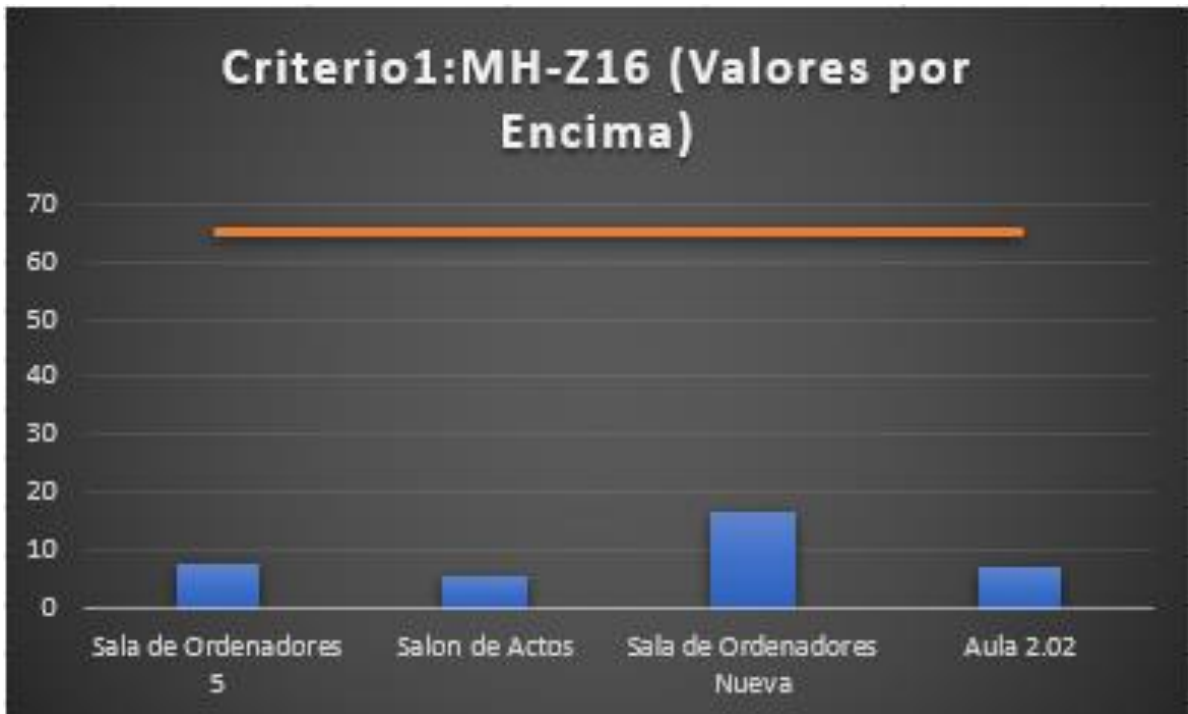
Se podría bajar más incluso el límite sin que hubiera ninguna variación del porcentaje de equipos que no cumplirían el criterio.

Para este caso se sugiere un valor límite de -60/-55ppm.

A continuación, se analizará el criterio para los valores medidos por el sensor MH-Z16 superiores a los obtenidos por el Aranet4 Pro.

MH-Z16(Diferencias Positivas)	
SENSORES RC	DIFERENCIA MEDIA
Sala de Ordenadores 5	8
Salon de Actos	5,75
Sala de Ordenadores Nueva	16,75
Aula 2.02	7,5

*Tabla diferencias positivas con respecto al Aranet4 Pro por parte del sensor MH-Z16*



*Criterio1 aplicado a valores del sensor MH-Z16 que se encontraban por encima de los obtenidos con Aranet4 Pro*

Como se puede observar en la gráfica, todos los valores cumplen holgadamente con el criterio.

Se considera para los valores por encima de los valores “reales” que mientras se encuentren dentro de la tolerancia de los equipos de medición Aranet4 Pro serán válidos.

**Para este caso se sugiere un valor límite de +65ppm.**

A continuación, se seguirá el mismo procedimiento para los equipos de medición con sensor MH-Z19b.

Primero se analizará este criterio para los valores por debajo de los equipos Aranet4 Pro y posteriormente para los valores por encima.

MH-Z19b (Diferencias Negativas)	
SENSORES RC	DIFERENCIA MEDIA
Secretaría EINA	-147,625
Aula 0.04	-32,25
Aula 1.02	-102
Aula 1.04	-80,25
Aula 2.01	39,75
Aula 3.09	-77,75

Tabla diferencias negativas con respecto al Aranet4 Pro por parte del sensor MH-Z19b



Criterio1 aplicado a valores del sensor MH-Z19b que se encontraban por encima de los obtenidos con Aranet4 Pro

En este caso se observa que, de los 5 equipos de medición, 4 equipos no estarían cumpliendo el criterio, es decir, el 80%.

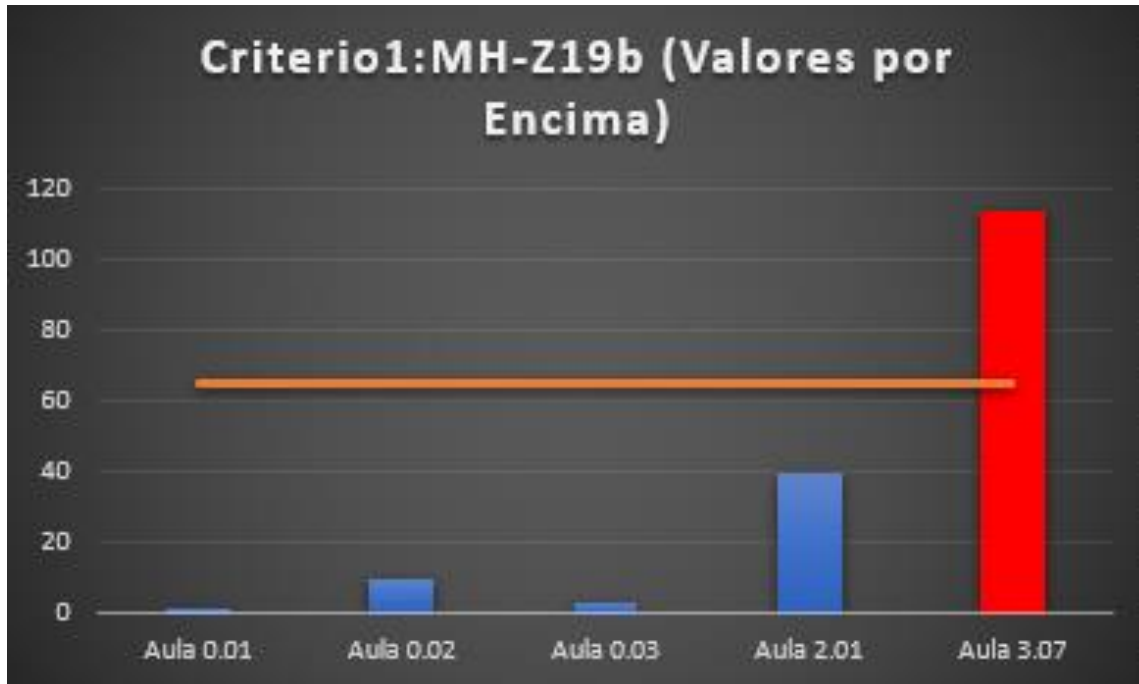
El único valor que cumple con el criterio, está lejos del valor límite por lo que se puede fijar un límite más restrictivo sin acusar variaciones en los resultados.

Para este caso se sugiere un valor límite de -65ppm, aunque se puede ajustar al valor límite que se quiera poner en el sensor del otro tipo ya que no afectaría a los resultados y sería más cómodo tener un único criterio para ambos tipos de sensores.

A continuación, se analizará el criterio para los valores medidos por el sensor MH-Z19b superiores a los obtenidos por el Aranet4 Pro.

<b>MH-Z19b (Diferencias Positivas)</b>	
<b>SENSORES RC</b>	<b>DIFERENCIA MEDIA</b>
Aula 0.01	1
Aula 0.02	9,25
Aula 0.03	2,7
Aula 2.01	39,75
Aula 3.07	113,875

Tabla diferencias negativas con respecto al Aranet4 Pro por parte del sensor MH-Z19b



Criterio1 aplicado a valores del sensor MH-Z16 que se encontraban por encima de los obtenidos con Aranet4 Pro

Como se puede observar en la gráfica, todos los valores cumplen holgadamente con el criterio a excepción de uno que sobrepasa el límite por aproximadamente 50ppm.

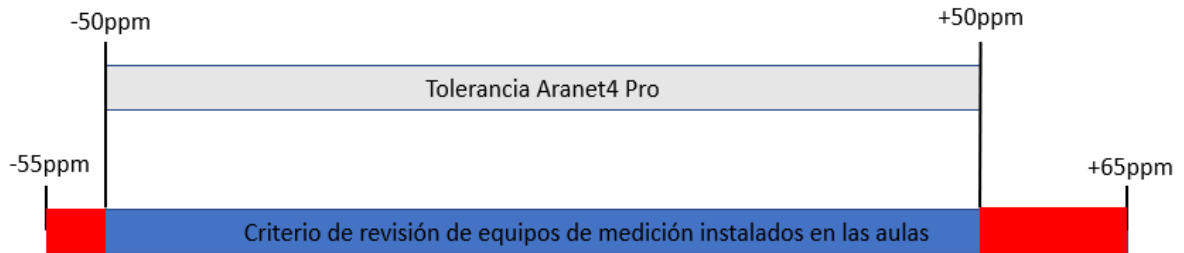
Se considera para los valores por encima de los valores “reales” que mientras se encuentren dentro de la tolerancia de los equipos de medición Aranet4 Pro serán válidos.

Para este caso se sugiere un valor límite de +65ppm.

## CONCLUSIONES

Acorde al estudio expuesto y poniendo en común los resultados obtenidos con Jorge Rodríguez que realiza un estudio paralelo con el mismo propósito, se puede determinar el criterio más adecuado para la revisión de los equipos de medición instalados en las aulas.

El límite superior de tolerancia más adecuado es de +65ppm mientras que el límite inferior de tolerancia más adecuado es de -55ppm, ambos con respecto a los valores obtenidos con el Aranet4 Pro.



## ANEXO X. Revisión de los equipos instalados en las aulas.

En el campus Rio Ebro durante el presente curso 2020-2021 se ha comenzado a instalar sensores de CO<sub>2</sub> en diferentes aulas y espacios con el fin de controlar la calidad de aire que se respira debido a la situación de emergencia sanitaria provocado por el SARS-CoV-2.

Como se ha demostrado la principal fuente de contagio de la COVID es la transmisión por el aire mediante aerosoles. Un nivel elevado de CO<sub>2</sub> en el aire aumenta las posibilidades de que una persona pueda contagiarse si está en contacto con otra persona que porta el virus. Para tener una ventilación adecuada en el ambiente es conveniente que el nivel de CO<sub>2</sub> en el aire se encuentre por debajo de 700 ppm en todo momento. Al aire libre se suele encontrar un nivel de CO<sub>2</sub> en torno a los 450 ppm.

Por tanto, con la instalación de sensores en la Universidad de Zaragoza que se ha comentado anteriormente, se quiere controlar el nivel de CO<sub>2</sub> que se tiene en las aulas para garantizar una docencia presencial segura.

El objetivo final del presente estudio es verificar que los sensores que se han instalado tienen un funcionamiento correcto, si se detecta que cualquier equipo proporciona unas lecturas erróneas de CO<sub>2</sub>, temperatura o humedad se recomendará su revisión.

### EQUIPOS INSTALADOS EN LAS AULAS

Se debe tener en cuenta que se tienen instalados dos tipos de sensores distintos a lo largo del campus. Por un lado, se tienen los equipos con sensor MH-Z16 (facilitados por el grupo HowLab y Roberto Casas, Figura 1 derecha) y, por otro lado, los equipos que tienen un sensor MH-Z19b (facilitados y montados por Enrique Torres, Figura 1 izquierda).

Ambos sensores utilizan el principio de infrarrojos no dispersos (NDIR) para detectar la presencia de CO<sub>2</sub> en el aire. El dióxido de carbono absorbe la radiación infrarroja de una forma única y característica. El sensor contiene un emisor y un receptor de luz que mandan y reciben un haz con la longitud de onda de absorción de CO<sub>2</sub>. Este haz se ve atenuado de manera proporcional a la cantidad de CO<sub>2</sub> presente en el aire o mezcla de gases que se está analizando. El detector tiene un filtro óptico frente a él, que elimina toda la luz, salvo la longitud de onda que pueden absorber las moléculas del gas seleccionado. [1]



Ilustración 51. Sensor MH-Z16 a la derecha. Sensor MH-Z19b izquierda.

## EQUIPOS DE REFERENCIA

Como se ha comentado anteriormente, los equipos instalados en el campus deben ser comparados con unos equipos de referencia que verifican su funcionamiento, para ello se utilizarán los sensores *aranet4 Pro*.

Estos equipos han sido comprados recientemente por la universidad, y en estos momentos se disponen de 6 sensores en total y una base Aranet Pro. Esta base será de gran ayuda a la hora de medir distintas aulas al mismo tiempo.

Los sensores *aranet4 Pro* son capaces de monitorear CO<sub>2</sub>, temperatura, humedad relativa y presión atmosférica. A través de un indicador de color advierten de si la calidad del aire que les rodea es adecuada o no. También utilizan un sensor NDIR.

La base Aranet Pro se utiliza para el seguimiento de datos centralizado. Recopila de forma inalámbrica las lecturas de los dispositivos *aranet4* que se encuentran vinculados a ella. Pueden vincularse hasta 100 dispositivos.

Cada sensor posee un código de inventario que se puede observar en la etiqueta que porta en su carcasa. También se dispone un código de equipo, el cual se encuentra en su interior, bajo las baterías que le alimentan.



Ilustración 52. Aranet 4 Pro y base Aranet Pro

## METODOLOGIA DE COMPROBACIÓN

Con el fin de comprobar los equipos instalados en el campus de la EINA, se han comparado los resultados proporcionados por los equipos instalados en las aulas y los equipos de referencia para verificar el correcto funcionamiento.

Se procederá colocando los equipos de referencia en el mismo lugar y entorno en el que se encuentran los equipos instalados. Una vez que el equipo de referencia se ha estabilizado (aproximadamente debe pasar entre 10 y 15 minutos) con el ambiente, se realizarán 3 medidas de CO<sub>2</sub>, temperatura y humedad en ambos equipos en intervalos de 15 minutos y se compararán los resultados obtenidos.

Los equipos de referencia serán vinculados a la *base Aranet Pro*. Esta debe conectarse a la red eléctrica, pasado un tiempo comenzara a emitir una señal de Wifi que carece de internet. Los distintos equipos se vinculan automáticamente con la base y la persona que está realizando dicha comprobación únicamente debe conectarse a la Wifi mencionada y en un buscador introducir la siguiente dirección: <http://192.168.206.100/>.

En dicha página se puede encontrar la información de los sensores de referencia que se están utilizando identificándolos mediante su correspondiente código de inventario o código del equipo.

Para recopilar la información proporcionada por los equipos instalados en las aulas o espacios del campus, se hace uso de la herramienta "sensoriZAR" creada por un equipo de investigación de la EINA (HowLab). Esta web muestra las lecturas de los equipos instalados en cada aula en tiempo real, asociándolos con el aforo que hay en cada momento en dichos espacios.

Se compararán los resultados de ambos equipos y se llegará a la conclusión de si el equipo instalado está funcionando correctamente o se recomienda su revisión. Para ello se deben observar si las tendencias de ambos equipos son similares o tienen comportamientos diferentes.

Se utiliza el criterio de revisión explicado y justificado en el **anexo VIII**, de manera que cuando un sensor instalado proporcione una lectura superior a 65 ppm respecto el valor proporcionado por el sensor de referencia o una lectura inferior a -55 ppm se recomendará su revisión.

**CONDICIONES DE MEDIDA EN EL ENTORNO**

**TIPO DE SENSOR INSTALADO:** LoRaWan 0000A0 (MH-Z16)

**SENSOR DE REFERENCIA:** Aranet 4 Pro 265937

**SITUACIÓN:** Varios grupos de estudiantes se encuentran en su interior.

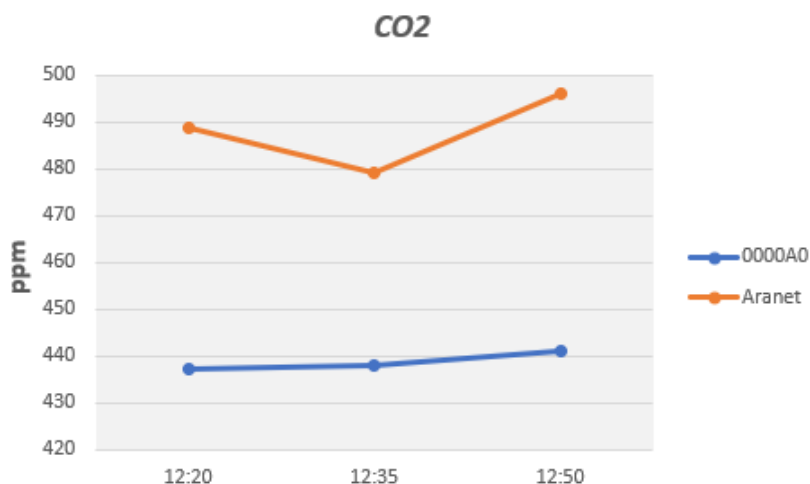
**DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN:** Ventilación mecánica en funcionamiento. Puertas y ventanas abiertas. No existe flujo cruzado

**OCUPACIÓN:** 26 personas

**FECHA:** 02/03/2021

*Análisis de CO<sub>2</sub>*

Hora	0000A0	Aranet	Diferencia
12:20	437	489	-52
12:35	438	479	-41
12:50	441	496	-55
Media	439	488	-49



**CONCLUSIONES:**

- Niveles de CO<sub>2</sub> adecuados debido a la buena ventilación mecánica de la sala.
- Al estar por debajo los valores del sensor instalado respecto del de referencia, se está ventilando menos de lo necesario.
- Se verifica el buen funcionamiento del sensor 0000A0 ya que no excede la diferencia máxima permitida, -55 ppm, cuando la medida es inferior al medidor de referencia.

CONDICIONES DE MEDIDA EN EL ENTORNO

**TIPO DE SENSOR INSTALADO:** LoRaWan 0001C8 (MH-Z16)

**SENSOR DE REFERENCIA:** Aranet 4 Pro 265938

**SITUACIÓN:** No hay clase

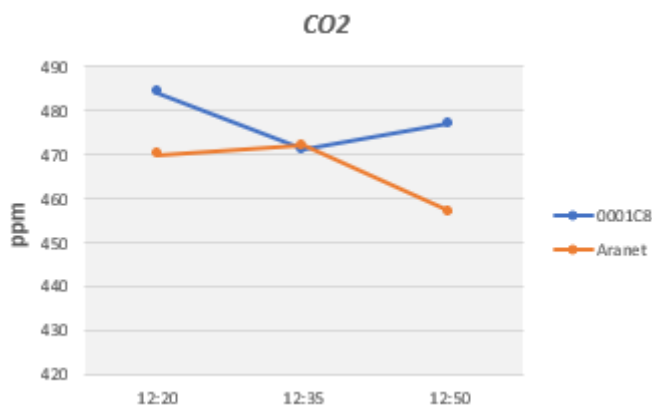
**DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN:** Ventilación mecánica en funcionamiento. Puertas y ventanas cerradas. No existe flujo cruzado.

**OCUPACIÓN:** libre.

**FECHA:** 02/03/2021

Análisis de CO<sub>2</sub>

Hora	0001C8	Aranet	Diferencia
12:20	484	470	14
12:35	471	472	-1
12:50	477	457	20
Media	477	466	11



**CONCLUSIONES:**

- Niveles de CO<sub>2</sub> adecuados debido a la buena ventilación mecánica del aula y su libre ocupación.
- Valores muy similares entre ambos sensores.
- Se verifica el buen funcionamiento del sensor **0001C8** ya que no excede la diferencia máxima permitida, 65 ppm, cuando la medida es superior al medidor de referencia.

### CONDICIONES DE MEDIDA EN EL ENTORNO

**TIPO DE SENSOR INSTALADO:** PAX-CO2-018 (MH-Z19b)

**SENSOR DE REFERENCIA:** Aranet 4 Pro 265937

**SITUACIÓN:** Se encuentran en clase

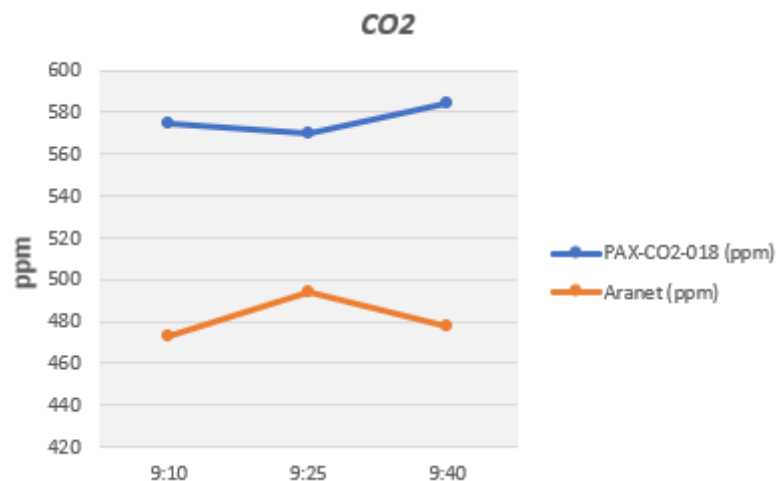
**DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN:** Ventilación mecánica en funcionamiento. Puertas y ventanas abiertas. Existe flujo cruzado dado que las ventanas del pasillo se encuentran abiertas

**OCUPACIÓN:** 15-25.

**FECHA:** 02/03/2021

#### Análisis de CO<sub>2</sub>

Hora	PAX-CO2-018 (ppm)	Aranet (ppm)	Diferencia
9:10	575	473	102
9:25	570	494	76
9:40	584	478	106
Media	576	482	95



#### CONCLUSIONES:

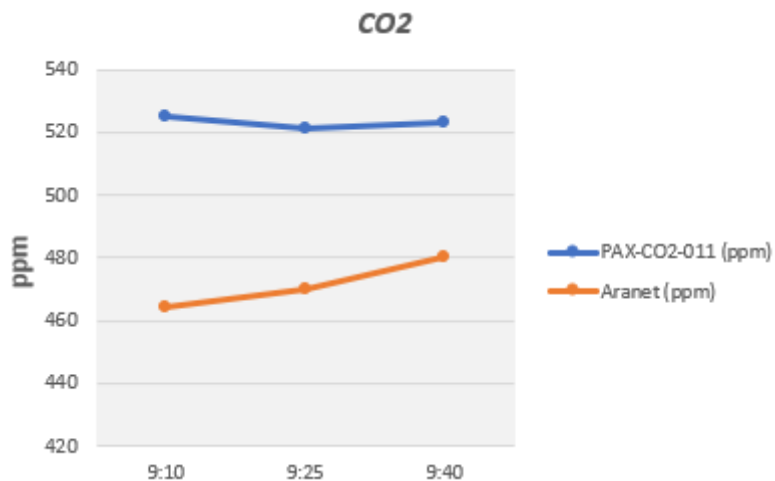
- Niveles de CO<sub>2</sub> son adecuados debido a la buena ventilación mecánica del aula y su libre ocupación.
- Los valores del sensor instalados difieren del sensor instalado en una media de 95 ppm. Podemos estar sobreventilando el aula.
- Se recomienda la revisión del sensor **PAX-CO1-018** ya que excede la diferencia máxima permitida, 65 ppm, cuando la medida es superior al medidor de referencia.

**CONDICIONES DE MEDIDA EN EL ENTORNO**

**TIPO DE SENSOR INSTALADO:** PAX-CO2-011 (MH-Z19b)  
**SENSOR DE REFERENCIA:** Aranet 4 Pro 265939  
**SITUACIÓN:** No hay clase  
**DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN:** Ventilación mecánica apagada. Puertas y ventanas cerradas. No existe flujo cruzado.  
**OCUPACIÓN:** libre.  
**FECHA:** 02/03/2021

*Análisis de CO<sub>2</sub>*

Hora	PAX-CO2-011 (ppm)	Aranet (ppm)	Diferencia
9:10	525	464	61
9:25	521	470	51
9:40	523	480	43
Media	523	471	52



**CONCLUSIONES:**

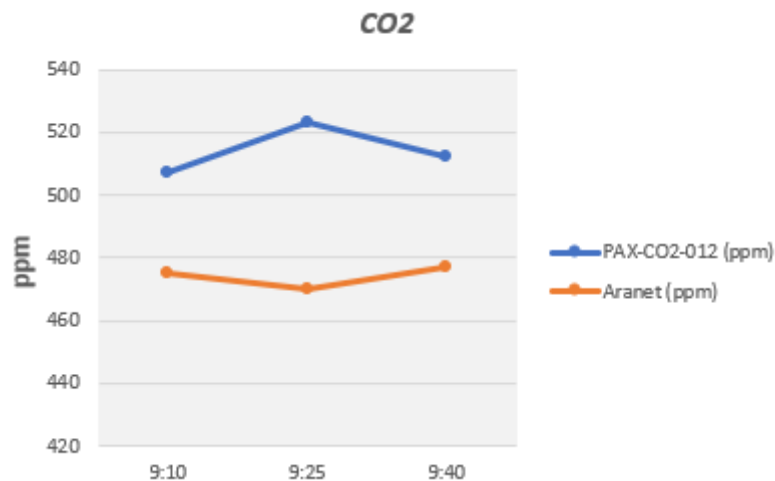
- Niveles de CO<sub>2</sub> adecuados debido a la libre ocupación del aula.
- La diferencia entre los valores del sensor instalado y el de referencia es aceptable. En la primera medición esta es mayor debido a la posible falta de adaptación del sensor de referencia al entorno.
- Se verifica el buen funcionamiento del sensor **PAX-CO2-011** ya que no excede la diferencia máxima permitida, 65 ppm, cuando la medida es superior al medidor de referencia.

**CONDICIONES DE MEDIDA EN EL ENTORNO**

**TIPO DE SENSOR INSTALADO:** PAX-CO2-012 (MH-Z19b)  
**SENSOR DE REFERENCIA:** Aranet 4 Pro 265938  
**SITUACIÓN:** No hay clase  
**DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN:** Ventilación mecánica apagada. Ventanas abiertas y puertas cerradas. No existe flujo cruzado.  
**OCUPACIÓN:** libre.  
**FECHA:** 02/03/2021

*Análisis de CO<sub>2</sub>*

Hora	PAX-CO2-012 (ppm)	Aranet (ppm)	Diferencia
9:10	507	475	32
9:25	523	470	53
9:40	512	477	35
Media	514	474	40



**CONCLUSIONES:**

- Niveles de CO<sub>2</sub> adecuados debido a la libre ocupación del aula.
- La diferencia entre los valores del sensor instalado y el de referencia es aceptable. Los valores del sensor instalado son más altos respecto al de referencia, consecuentemente se podría estar sobreventilando el aula.
- Se verifica el buen funcionamiento del sensor **PAX-CO2-012** ya que no excede la diferencia máxima permitida, 65 ppm, cuando la medida es superior al medidor de referencia.

### CONDICIONES DE MEDIDA EN EL ENTORNO

**TIPO DE SENSOR INSTALADO:** PAX-CO2-009 (MH-Z19b)

**SENSOR DE REFERENCIA:** Aranet 4 Pro 265940

**SITUACIÓN:** Clase

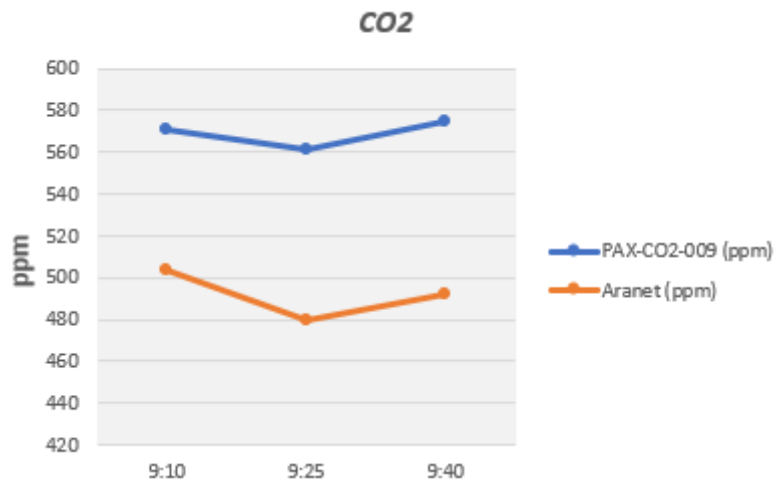
**DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN:** Ventilación mecánica en funcionamiento. Ventanas y puertas abiertas. Existe flujo cruzado porque las ventanas del pasillo se encuentran abiertas.

**OCUPACIÓN:** 20-30 personas.

**FECHA:** 02/03/2021

#### Análisis de CO<sub>2</sub>

Hora	PAX-CO2-009 (ppm)	Aranet (ppm)	Diferencia
9:10	571	504	67
9:25	561	480	81
9:40	575	492	83
Media	569	492	77



#### CONCLUSIONES:

- Niveles de CO<sub>2</sub> adecuados, ya que se encuentran en clase, pero existe una ventilación natural y mecánica.
- Los valores del sensor instalado son considerablemente mayores al de referencia. Puede que sea un caso de aula con sobreventilación.
- **Se recomienda la revisión del sensor PAX-CO2-009 ya que excede la diferencia máxima permitida, 65 ppm, cuando la medida es superior al medidor de referencia.**

**CONDICIONES DE MEDIDA EN EL ENTORNO**

**TIPO DE SENSOR INSTALADO:** LoRaWan 0001F2 (MH-Z16)

**SENSOR DE REFERENCIA:** Aranet 4 Pro 265937

**SITUACIÓN:** Clase

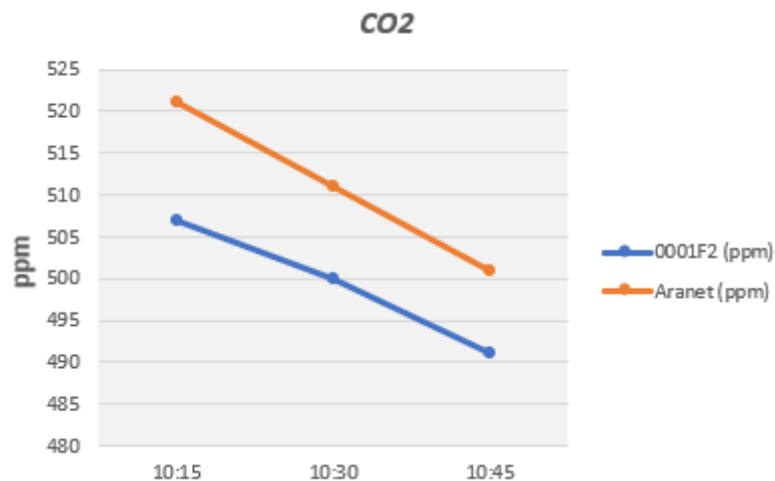
**DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN:** Ventilación mecánica en funcionamiento. Ventanas y puertas abiertas. No existe flujo cruzado porque las ventanas del pasillo se encuentran cerradas.

**OCUPACIÓN:** 20-30 personas.

**FECHA:** 02/03/2021

*Análisis de CO<sub>2</sub>*

Hora	0001F2 (ppm)	Aranet (ppm)	Diferencia
10:15	507	521	-14
10:30	500	511	-11
10:45	491	501	-10
Media	499	511	-12



**CONCLUSIONES:**

- Niveles de CO<sub>2</sub> adecuados, ya que se encuentran en clase, pero existe una buena ventilación mecánica.
- Los valores del sensor instalado son muy similares con el sensor de referencia.
- Se verifica el correcto funcionamiento del sensor **0001F2** ya que no excede la diferencia máxima permitida, -55 ppm, cuando la medida es inferior al medidor de referencia.

**CONDICIONES DE MEDIDA EN EL ENTORNO**

**TIPO DE SENSOR INSTALADO:** PAX-CO2-014 (MH-Z19b)

**SENSOR DE REFERENCIA:** Aranet 4 Pro 265938

**SITUACIÓN:** Clase

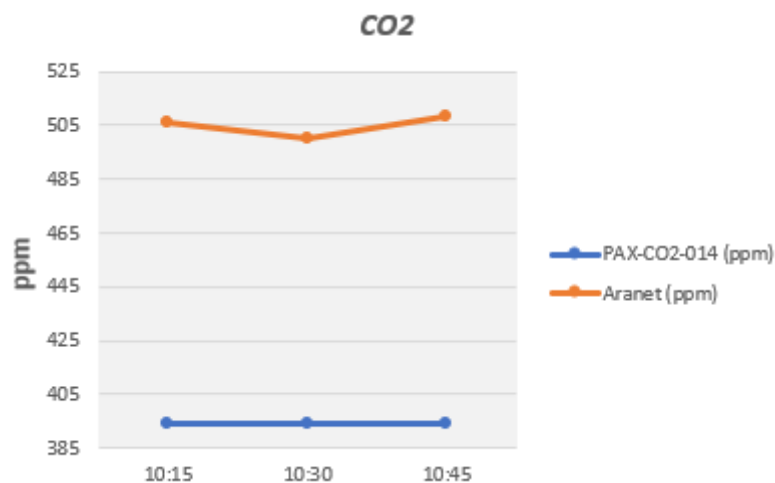
**DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN:** Ventilación mecánica en funcionamiento. Ventanas y puertas abiertas. No existe flujo cruzado porque las ventanas del pasillo se encuentran cerradas.

**OCUPACIÓN:** 20-30 personas.

**FECHA:** 02/03/2021

*Análisis de CO<sub>2</sub>*

Hora	PAX-CO2-014 (ppm)	Aranet (ppm)	Diferencia
10:15	394	506	-112
10:30	394	500	-106
10:45	394	508	-114
Media	394	505	-111



**CONCLUSIONES:**

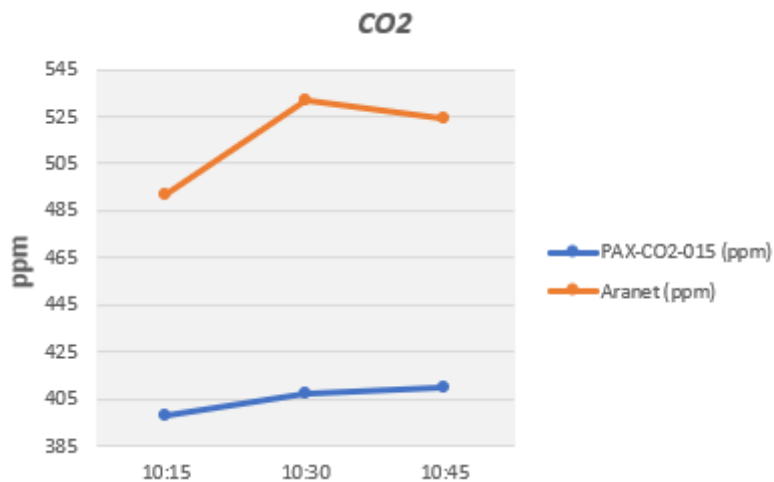
- No tiene sentido un nivel de CO<sub>2</sub> tan bajo como el que proporciona el sensor instalado, ya que se encuentran en el aula dando clase.
- Los valores del sensor de referencia son considerablemente mayores respecto al sensor instalado. Se necesitará mayor ventilación en el aula.
- **Se recomienda la revisión del sensor PAX-CO2-014 ya que excede la diferencia máxima permitida, -55 ppm, cuando la medida es inferior al medidor de referencia.**

**CONDICIONES DE MEDIDA EN EL ENTORNO**

**TIPO DE SENSOR INSTALADO:** PAX-CO2-015 (MH-Z19b)  
**SENSOR DE REFERENCIA:** Aranet 4 Pro 265940  
**SITUACIÓN:** Clase  
**DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN:** Ventilación mecánica en funcionamiento. Ventanas y puertas abiertas. No existe flujo cruzado porque las ventanas del pasillo se encuentran cerradas.  
**OCUPACIÓN:** 20-30 personas.  
**FECHA:** 02/03/2021 Análisis CO<sub>2</sub>

Análisis de CO<sub>2</sub>

Hora	PAX-CO2-015 (ppm)	Aranet (ppm)	Diferencia
10:15	398	492	-94
10:30	407	532	-125
10:45	410	524	-114
Media	405	516	-111



**CONCLUSIONES:**

- No tiene sentido un nivel de CO<sub>2</sub> tan bajo como el que proporciona el sensor instalado, ya que se encuentran en un aula donde están en clase.
- Los valores del sensor de referencia son considerablemente mayores respecto al sensor instalado. Se necesitará mayor ventilación en el aula.
- **Se recomienda la revisión del sensor PAX-CO2-015 ya que excede la diferencia máxima permitida, -55 ppm, cuando la medida es inferior al medidor de referencia.**

**CONDICIONES DE MEDIDA EN EL ENTORNO**

**TIPO DE SENSOR INSTALADO:** LoRaWan 0001B5 (MH-Z16)

**SENSOR DE REFERENCIA:** Aranet 4 Pro 265939

**SITUACIÓN:** Acaba de terminar el descanso largo de la mañana y la gente entra a clase.

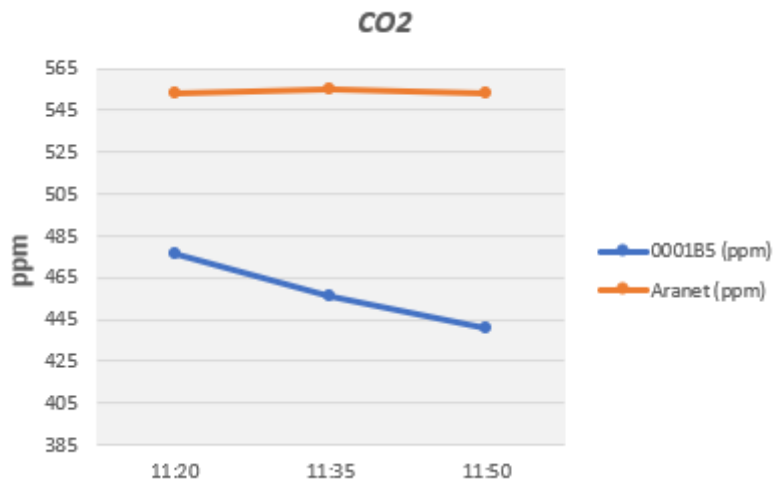
**DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN:** Ventilación mecánica en funcionamiento. Ventanas del pasillo cerradas y puertas de las distintas clases abiertas. No existe flujo cruzado.

**OCUPACIÓN:** 5-10 personas.

**FECHA:** 02/03/2021

*Análisis de CO<sub>2</sub>*

Hora	0001B5 (ppm)	Aranet (ppm)	Diferencia
11:20	476	553	-77
11:35	456	555	-99
11:50	441	553	-112
Media	457	554	-96



**CONCLUSIONES:**

- Los valores del sensor de referencia son considerablemente mayores respecto al sensor instalado. Se necesitará mayor ventilación en el aula.
- Niveles de CO<sub>2</sub> adecuados gracias a la ventilación mecánica.
- **Se recomienda la revisión del sensor 0001B5 ya que excede la diferencia máxima permitida, -55 ppm, cuando la medida es inferior al medidor de referencia.**

### CONDICIONES DE MEDIDA EN EL ENTORNO

**TIPO DE SENSOR INSTALADO:** PAX-CO2-016 (MH-Z19b)

**SENSOR DE REFERENCIA:** Aranet 4 Pro 265937

**SITUACIÓN:** En clase.

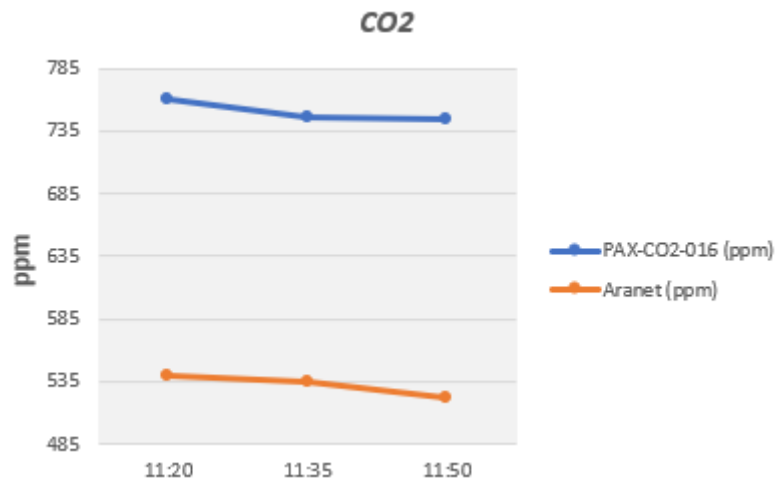
**DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN:** Ventilación mecánica en funcionamiento. Ventanas y puertas del aula abiertas. Las ventanas del pasillo se encuentran cerradas, por tanto, no existe flujo cruzado.

**OCUPACIÓN:** 20-30 personas.

**FECHA:** 02/03/2021

#### Análisis de CO<sub>2</sub>

Hora	PAX-CO2-016 (ppm)	Aranet (ppm)	Diferencia
11:20	761	539	222
11:35	746	535	211
11:50	744	522	222
Media	750	532	218



#### CONCLUSIONES:

- Niveles de CO<sub>2</sub> demasiado elevados en el aula si tenemos en cuenta que la ventilación mecánica está en funcionamiento.
- Los valores del sensor instalado son muy elevados respecto al sensor de referencia. El sensor instalado puede estar dando una lectura sobredimensionada y consecuentemente el aula está siendo sobreventilada.
- Se recomienda la revisión del sensor **PAX-CO2-016** ya que excede la diferencia máxima permitida, 65 ppm, cuando la medida es superior al medidor de referencia.

### CONDICIONES DE MEDIDA EN EL ENTORNO

**TIPO DE SENSOR INSTALADO:** LoRaWan 000196 (MH-Z16)

**SENSOR DE REFERENCIA:** Aranet 4 Pro 265938

**SITUACIÓN:** En clase.

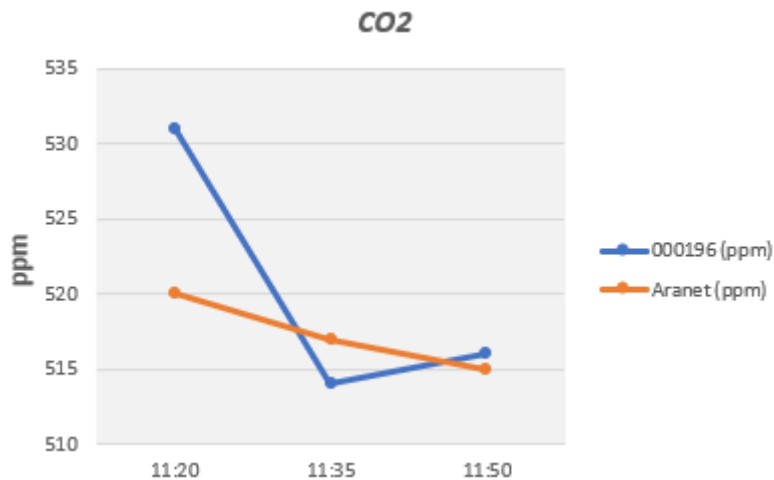
**DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN:** Ventilación mecánica en funcionamiento. Ventanas y puertas del aula abiertas. Las ventanas del pasillo se encuentran cerradas, por tanto, no existe flujo cruzado.

**OCUPACIÓN:** 20-30 personas.

**FECHA:** 02/03/2021

#### Análisis de CO<sub>2</sub>

Hora	000196 (ppm)	Aranet (ppm)	Diferencia
11:20	531	520	11
11:35	514	517	-3
11:50	516	515	1
Media	520	517	3



#### CONCLUSIONES:

- Niveles de CO<sub>2</sub> adecuados en el aula gracias a que se tiene la ventilación mecánica activa y las puertas y ventanas se encuentran abiertas.
- Los valores de ambos sensores muy similares entre sí.
- Se verifica el buen funcionamiento del sensor **000196** ya que no excede la diferencia máxima permitida, 65 ppm, cuando la medida es superior al medidor de referencia.

### CONDICIONES DE MEDIDA EN EL ENTORNO

**TIPO DE SENSOR INSTALADO:** LoRaWan 0001B1 (MH-Z16)

**SENSOR DE REFERENCIA:** Aranet 4 Pro 265938

**SITUACIÓN:** No hay clase.

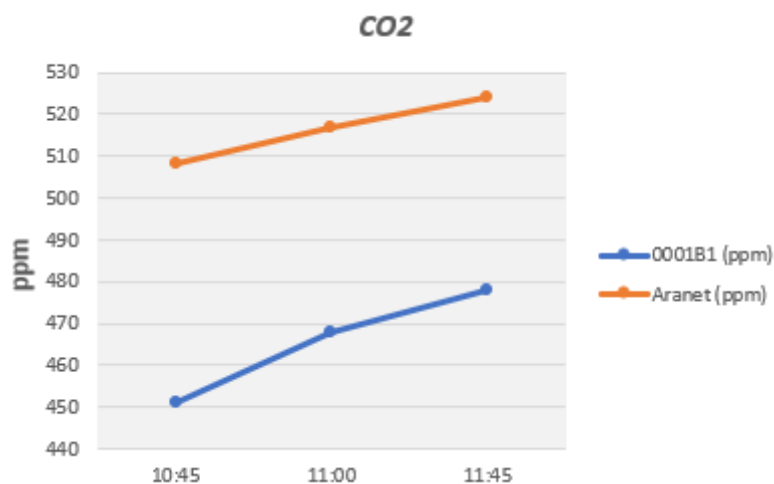
**DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN:** Ventilación mecánica en funcionamiento. Ventanas y puertas del aula cerradas. No existe flujo cruzado.

**OCUPACIÓN:** libre.

**FECHA:** 23/02/2021

#### Análisis de CO<sub>2</sub>

Hora	0001B1 (ppm)	Aranet (ppm)	Diferencia
10:45	451	508	-57
11:00	468	517	-49
11:45	478	524	-46
Media	466	516	-51



#### CONCLUSIONES:

- Niveles de CO<sub>2</sub> adecuados en el aula gracias a que se tiene la ventilación mecánica activa y las puertas y ventanas se encuentran abiertas.
- Los valores del sensor instalado son notablemente inferiores a los del sensor de referencia. Necesitaremos mayor ventilación en el aula.
- Se verifica el buen funcionamiento del sensor **0001B1** ya que no excede la diferencia máxima permitida, -55 ppm, cuando la medida es inferior al medidor de referencia.

### CONDICIONES DE MEDIDA EN EL ENTORNO

**TIPO DE SENSOR INSTALADO:** PAX-CO2-010 (MH-Z19b)

**SENSOR DE REFERENCIA:** Aranet 4 Pro 265938

**SITUACIÓN:** No hay clase.

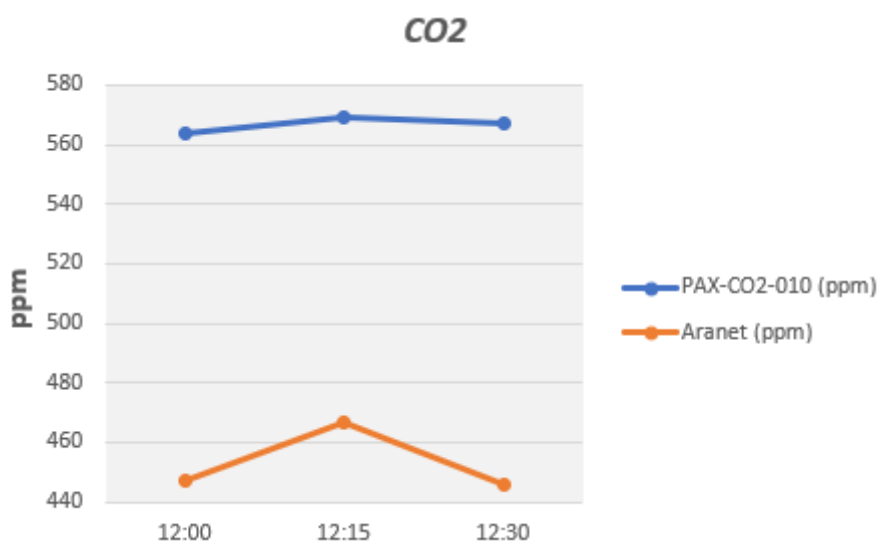
**DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN:** Ventilación mecánica en funcionamiento. Ventanas y puertas del aula abiertas. No existe flujo cruzado porque las ventanas del pasillo están cerradas.

**OCUPACIÓN:** libre.

**FECHA:** 23/02/2021

#### Análisis de CO<sub>2</sub>

Hora	PAX-CO2-010 (ppm)	Aranet (ppm)	Diferencia
12:00	564	447	117
12:15	569	467	102
12:30	567	446	121
Media	567	453	113



#### CONCLUSIONES:

- Niveles de CO<sub>2</sub> adecuados en el aula gracias a que se tiene la ventilación mecánica activa y las puertas y ventanas se encuentran abiertas.
- Los valores del sensor instalado son notablemente mayores a los del sensor de referencia. Se puede estar sobreventilando el aula.
- Se recomienda la revisión del sensor **PAX-CO2-010** ya que excede la diferencia máxima permitida, 65 ppm, cuando la medida es superior al medidor de referencia.

**CONDICIONES DE MEDIDA EN EL ENTORNO**

**TIPO DE SENSOR INSTALADO:** LoRaWan 0001F1 (MH-Z16)

**SENSOR DE REFERENCIA:** Aranet 4 Pro 265940

**SITUACIÓN:** Acaban de salir de clase y esta queda libre.

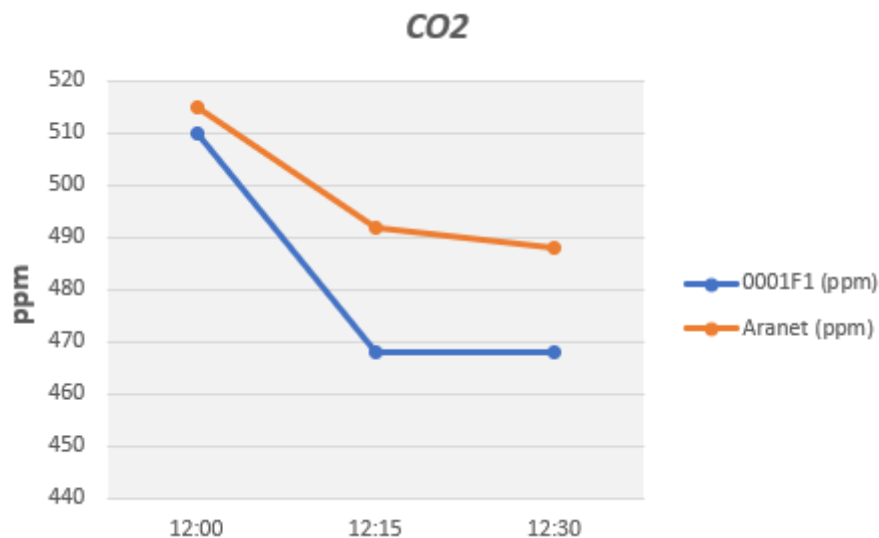
**DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN:** Ventilación mecánica en funcionamiento. Ventanas y puertas del aula cerradas. No existe flujo cruzado.

**OCUPACIÓN:** libre.

**FECHA:** 23/02/2021

*Análisis de CO<sub>2</sub>*

Hora	0001F1 (ppm)	Aranet (ppm)	Diferencia
12:00	510	515	-5
12:15	468	492	-24
12:30	468	488	-20
Media	482	498	-16



**CONCLUSIONES:**

- Niveles de CO<sub>2</sub> adecuados en el aula gracias a que se tiene la ventilación mecánica activa.
- Los valores del sensor instalado son ligeramente inferiores a los del sensor de referencia.
- Se verifica el buen funcionamiento del sensor **0001F1** ya que no excede la diferencia máxima permitida, -55 ppm, cuando la medida es inferior al medidor de referencia.

### CONDICIONES DE MEDIDA EN EL ENTORNO

**TIPO DE SENSOR INSTALADO:** PAX-CO2-013 (MH-Z19b)

**SENSOR DE REFERENCIA:** Aranet 4 Pro 265937

**SITUACIÓN:** No hay clase.

**DESCRIPCIÓN DE LA VENTILACIÓN:** Ventilación mecánica en funcionamiento. Ventanas y puertas del aula cerradas. No existe flujo cruzado.

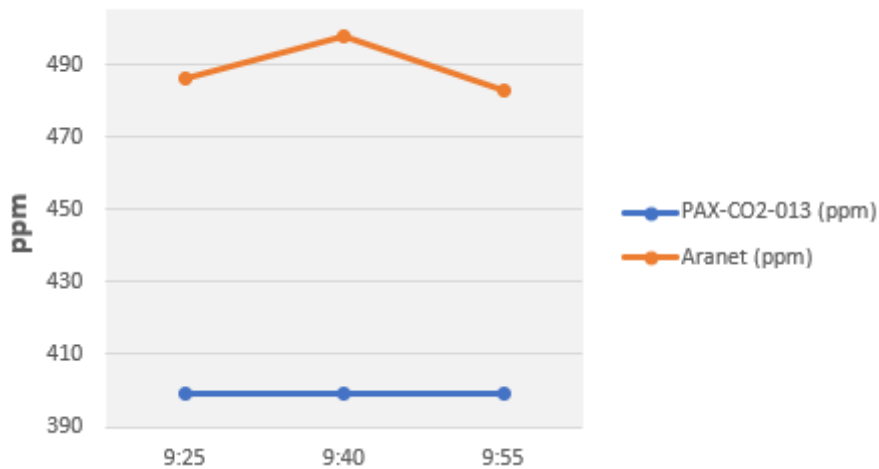
**OCUPACIÓN:** libre.

**FECHA:** 01/03/2021

#### Análisis de CO<sub>2</sub>

Hora	PAX-CO2-013 (ppm)	Aranet (ppm)	Diferencia
9:25	399	486	-87
9:40	399	498	-99
9:55	399	483	-84
Media	399	489	-90

#### CO<sub>2</sub>



#### CONCLUSIONES:

- Niveles de CO<sub>2</sub> demasiado bajos teniendo en cuenta que nos encontramos en el interior de un edificio y no al aire libre.
- Los valores del sensor instalado son notablemente inferiores a los del sensor de referencia.
- Durante la medición se aprecia que la lectura de CO<sub>2</sub> no cambia en el sensor instalado y teniendo en cuenta que se trata de un valor poco coherente el sensor puede haberse clavado.
- **Se recomienda la revisión del sensor PAX-CO2-013 ya que excede la diferencia máxima permitida, -55 ppm, cuando la medida es inferior al medidor de referencia.**

## CONCLUSIONES

Una vez finalizada la revisión de todos los sensores instalados en el edificio Betancourt, se puede ver el estado de todos ellos resumido en la siguiente tabla:

AULA	IDENTIFICADOR	ESTADO DEL SENSOR
Sala de estudios Tomas Pollán	0000A0	Funcionamiento correcto
Sala nueva de ordenadores	0001C8	Funcionamiento correcto
Aula 0.01	PAX-CO2-018	Se recomienda revisión
Aula 0.02	PAX-CO2-011	Funcionamiento correcto
Aula 0.03	PAX-CO2-012	Funcionamiento correcto
Aula 0.04	PAX-CO2-009	Se recomienda revisión
Aula 1.01	0001F2	Funcionamiento correcto
Aula 1.02	PAX-CO2-014	Se recomienda revisión
Aula 1.04	PAX-CO2-015	Se recomienda revisión
Pasillo Planta 2	0001B5	Se recomienda revisión
Aula 2.01	PAX-CO2-016	Se recomienda revisión
Aula 2.02	000196	Funcionamiento correcto
Aula 2.07	0001B1	Funcionamiento correcto
Aula 3.07	PAX-CO2-010	Se recomienda revisión
Aula 3.08	0001F1	Funcionamiento correcto
Aula 3.09	PAX-CO2-013	Se recomienda revisión

En total el edificio Betancourt dispone de 16 sensores instalados en distintas aulas y espacios, de todos ellos 8 funcionan correctamente y 8 deben calibrarse, es decir el 50% de los sensores proporciona una lectura de CO<sub>2</sub> errónea.

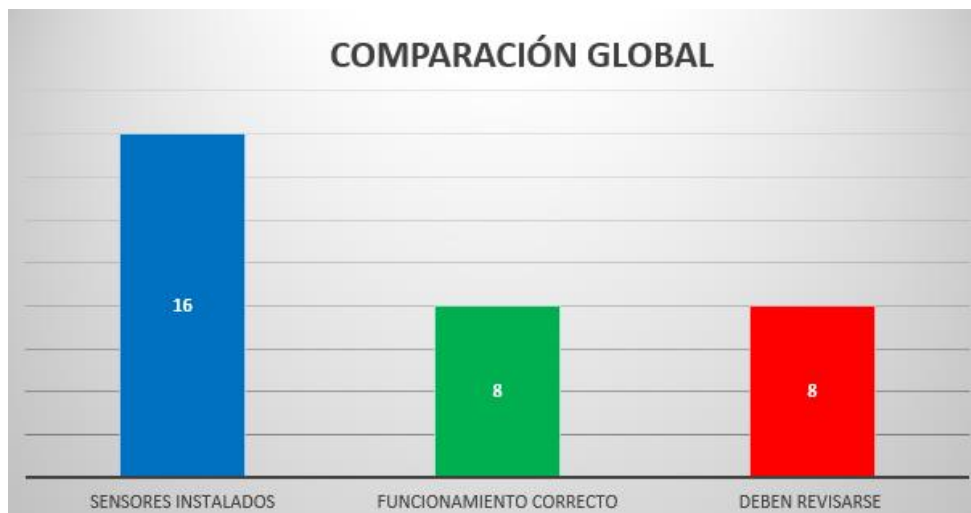


Tabla 68. Comparación global funcionamiento de los sensores. Elaboración propia.

El hecho de que la mitad de los sensores instalados proporcionan una mala lectura no es buen resultado, dado que estamos proporcionando una falsa seguridad en las aulas en las que los sensores no funcionan correctamente, por tanto, estamos poniendo en peligro a sus ocupantes. Además, en otras ocasiones podemos estar introduciendo una ventilación mayor de la necesaria, de manera que estamos gastando más de lo necesario y evitando un ahorro energético.

El motivo por el cual el número de sensores que funcionan de forma incorrecta sea tan elevado es que desde que dichos sensores se instalaron no han sido recalibrados. De forma que el sensor ha podido perder la referencia sobre la que realizar las distintas medidas y, en consecuencia, estar proporcionando datos erróneos. Es importante realizar una revisión periódica sobre estos sensores para comprobar su correcto funcionamiento o si es necesaria llevar a cabo dicha recalibración.

Como se ha nombrado al principio de este documento, en el campus hay dos tipos de sensores instalados MH-Z16 y MH-Z19b. A continuación, se analizará si el funcionamiento de ambos tipos por separado.

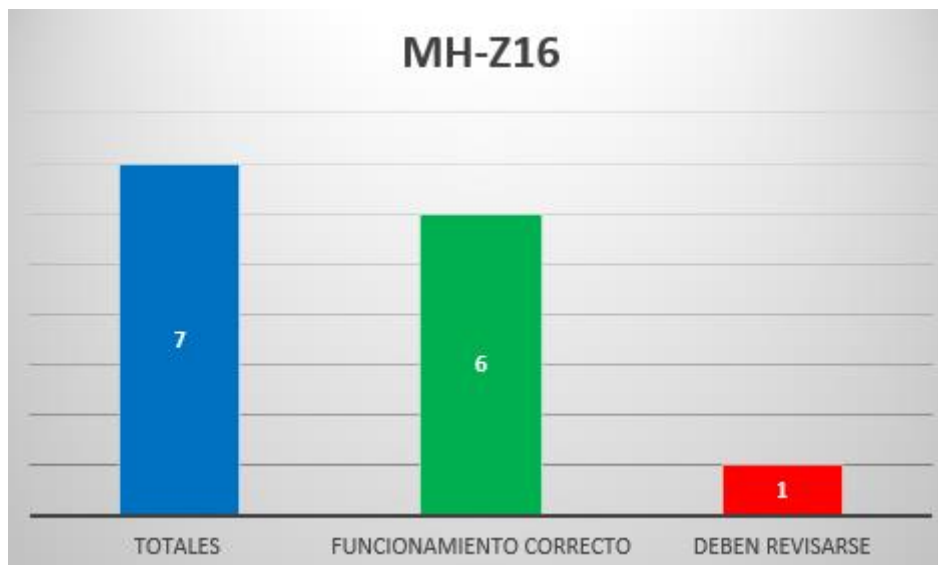


Tabla 69. Funcionamiento de los sensores MH-Z16. Elaboración propia.

Los sensores MH-Z19b proporcionados por Roberto Casas dan un muy buen resultado. En el edificio Betancourt tenemos instalados 7 en total, de los cuales el 86 % funciona correctamente y solo un único sensor (14%) proporciona lecturas erróneas.

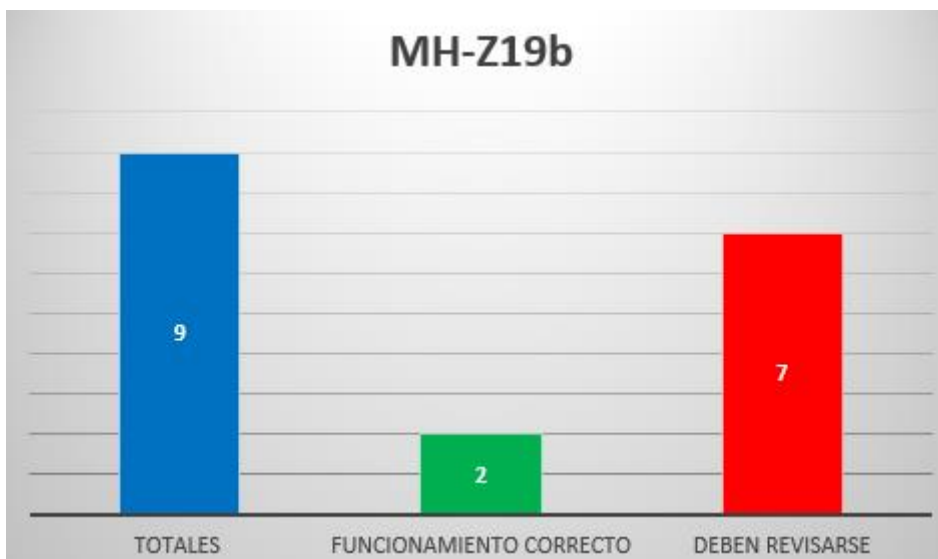


Tabla 70. Funcionamiento de los sensores MH-Z19b. Elaboración propia.

Los sensores MH-Z16 montados por Enrique Torres proporcionan un resultado más pobre ya que únicamente dos sensores (22%) funcionan correctamente en comparación con el sensor de referencia. El 78 % restante de los sensores MH-Z16 deben revisarse.

Como se puede apreciar los sensores MH-Z16 proporcionan un resultado notablemente mejor que los MH-Z19b, los cuales más de la mitad necesitan recalibrarse. En consecuencia, **se recomienda la instalación de los sensores MH-Z16.**

## ANEXO XI. Revisión de los equipos instalados en las aulas. (Javier Baselga Casas)

### **1.EQUIPOS DE MEDICIÓN**

#### **1.1. Equipos instalados en las aulas**

En las aulas del Campus Río Ebro tenemos dos tipos de equipos de medición que se diferencian principalmente en el tipo de sensor que contienen.

Por un lado tenemos los equipos con un sensor MH-Z16 (Roberto Casas) y por otro lado tenemos los equipos con un sensor MH-Z19b (Enrique Torres).

Ambos sensores funcionan por infrarrojos. El dióxido de carbono y otros gases compuestos por dos o más átomos diferentes absorben la radiación infrarroja (IR) de una forma única y característica. El sensor contiene un emisor y un receptor de luz que mandan y reciben un haz con la longitud de onda de absorción de CO<sub>2</sub>. Este haz se ve atenuado (diferencia entre lo emitido y lo recibido) de manera proporcional a la cantidad de CO<sub>2</sub> presente en el aire o mezcla de gases que se está analizando.

Para este tipo de sensores es importante evitar que estén sometidos a mucho viento o bien a la luz solar ya que dificulta la medición y el funcionamiento correcto.

## 1.2. Equipos de Referencia

Como equipos de medición de referencia hemos utilizado Aranet4 Pro.

Estos equipos han sido previamente calibrados según la información aportada por el servicio técnico de Aranet por lo que entendemos los datos ofrecidos por estos equipos como válidos.

Realizamos un estudio con los 6 Aranet4 Pro para comprobar si ofrecían todos valores parecidos de CO2 en un mismo ambiente y vimos que había uno de ellos que ofrecía valores fuera de la tolerancia +- 50ppm por lo que decidimos desechar ese equipo de medición para este estudio procediendo a su calibración.

COMPROBACIÓN VALORES ARANET										
FECHA	16/02/2021	MEDICIÓN 1		MEDICIÓN 2		MEDICIÓN 3		MEDICIÓN 4		
MEDIDOR	CÓDIGO	HORA	VALOR	HORA	VALOR	HORA	VALOR	HORA	VALOR	MEDIA
ARANET 4 PRO	00BC1	11:05	494	11:20	495	11:35	485	11:50	492	491,5
	00B50	11:05	504	11:20	503	11:35	500	11:50	499	501,5
	00B5B	11:05	500	11:20	500	11:35	503	11:50	487	497,5
	00BAE	11:05	513	11:20	499	11:35	494	11:50	484	497,5
	00B56	11:05	502	11:20	486	11:35	490	11:50	487	491,25
	00B59	11:05	414	11:20	423	11:35	434	11:50	420	422,75

*Comprobación de los valores obtenidos con los equipos de medición Aranet4 Pro*

Nos hemos ayudado de la base Aranet Pro para poder realizar lecturas en distintas aulas sin necesidad de estar en ellas.



*Equipos Aranet4 Pro*



*Base Aranet Pro*

## **2.METODOLOGÍA**

Para comprobar el correcto funcionamiento de los equipos de medición se decide realizar una comparación de resultados entre los equipos instalados en las aulas y los equipos calibrados para comprobar si realmente los valores ofrecidos por los equipos de medición de las aulas eran correctos.

No hay que ver que los valores ofrecidos en un momento puntual sean iguales sino que las tendencias son parecidas y que las discrepancias de valores no varían en función de si el nivel de CO2 es mayor o menor.

Para ello se realizan 4 medidas a lo largo de 1 hora en intervalos de 15 minutos colocando el equipo de medición de referencia en el mismo lugar que el equipo del aula con el fin de estudiar la evolución de los niveles de CO2 de ambos y compararlos.

Para realizar las lecturas de valores de los equipos de medición instalados en las aulas se requiere de la página web “señaliZAR”. Por otro lado para realizar las lecturas de valores de los equipos de medición Aranet4 Pro se utiliza la base Aranet Pro. Se enciende la base, se conecta a la corriente y se esperan aproximadamente 45 segundos para que comience a emitir una señal Wifi. Se conecta el ordenador a dicha Wifi que carece de Internet. Una vez conectada, se abre un buscador cualquiera (Google Chrome, Internet Explorer, Mozilla,...) y se escribe en la barra de búsqueda: <http://192.168.206.100/> .

Una vez introducido el enlace aparecerá la información de los sensores que estén emparejados a la base con su correspondiente código de inventario (número de las etiquetas) y código del equipo (código que se encuentra debajo de las pilas y recuadrado).

En el momento de este estudio no había más dispositivos Aranet4 Pro disponibles en la Universidad de Zaragoza para realizar el emparejamiento con la base. Pero en caso de que en un futuro se quisieran emparejar más dispositivos, la información necesaria se encuentra aquí:

[https://dl.aranet.com/wp-content/uploads/2017/04/01153032/PRO\\_UserGuide-EU-Ver-5.pdf](https://dl.aranet.com/wp-content/uploads/2017/04/01153032/PRO_UserGuide-EU-Ver-5.pdf)

La finalidad de este estudio es ver qué equipos están funcionando correctamente y cuales requieren de una calibración. Para ello se realiza un estudio para determinar el criterio de revisión de los equipos de medición más adecuado (**Anexo B1**). El resultado de dicho estudio es una tolerancia de +65ppm y de -55ppm con respecto a los dispositivos de Aranet4 Pro calibrados.

Se considera , que si se lee un nivel de CO2 por encima del real, se estará ventilando más de lo necesario. Si se lee un nivel de CO2 por debajo del real, se estará ventilando menos de lo necesario con el consiguiente problema de salud que conlleva. Por ello se pone un criterio más estricto para los valores por debajo del valor real del aula.

### 3.MEDICIONES

#### 3.1.Edificio Betancourt

### **BETANCOURT: SALA DE ESTUDIOS TOMAS POLLÁN**

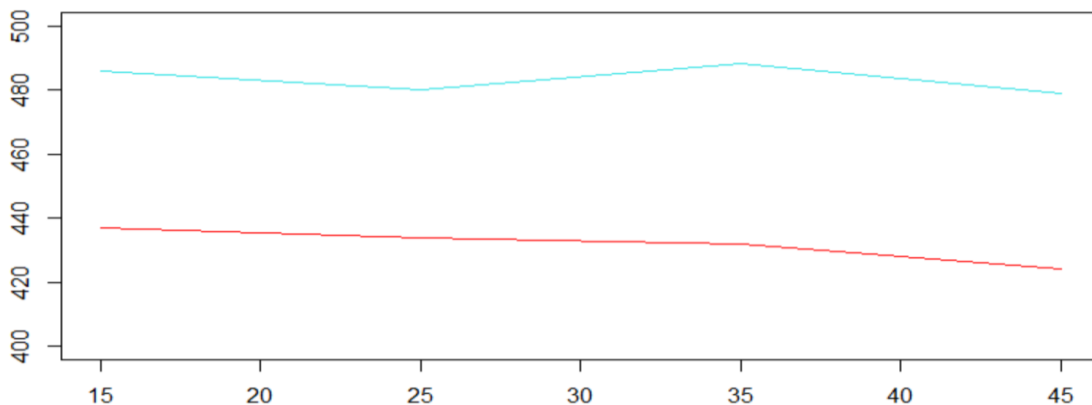
#### **CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN**

- Ocupación: 8 personas
- Ventanas: abiertas
- Puertas: cerradas
- Flujo cruzado: No
- Ventilación Mecánica: Sí
- Medidor: 0000A0 (MH-Z16)
- Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00BAE)

#### **VALORES MEDICIÓN (12/02/21)**

	9:15	9:25	9:35	9:45	Media
<b>0000A0</b>	437	434	432	424	431,75
<b>ARANET 4</b>	486	480	488	479	483,25
<b>Diferencia</b>	-49	-46	-56	-55	-51,5

#### **Comprobación Sala de Estudios Tomás Pollán**



Aranet4

0000A0

#### **CONCLUSIONES**

- Niveles muy buenos a pesar de la ocupación del aula debido a la buena ventilación mecánica de la sala.
- Al estar por debajo los valores del sensor instalado, se está ventilando menos de lo necesario.
- Se recomienda la revisión del sensor 0000A0.

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalIZAR"\*

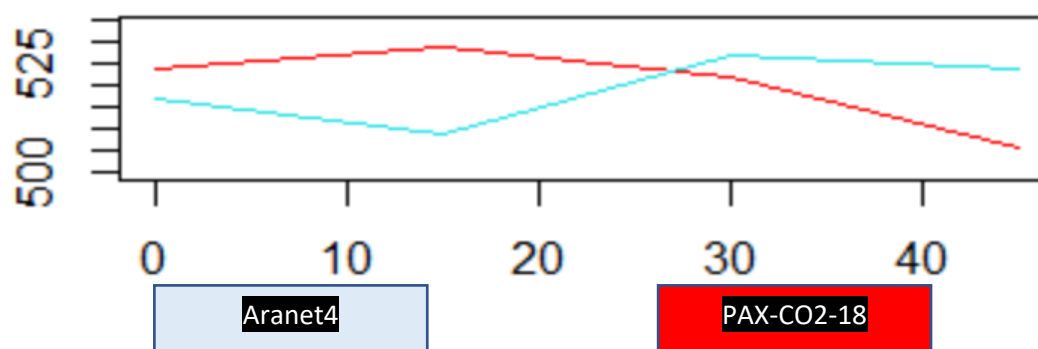
## **BETANCOURT: AULA 0.01**

### **CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN**

-Ocupación: entre 20 y 30 personas  
-Ventanas: abiertas  
-Puertas: abiertas  
-Flujo cruzado: Sí  
-Ventilación mecánica: No  
-Medidor: PAX-CO2-18 (MH-Z19b)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00BAE)  
-Observaciones: las puertas que dan a la calle se encuentran abiertas lo que permite que haya flujo cruzado

<b>VALORES MEDICIÓN (11/02/21)</b>					
	10:00	10:15	10:30	10:45	Media
<b>PAX-CO2-18</b>	524	529	522	506	520,25
<b>ARANET 4</b>	517	509	527	524	519,25
<b>Diferencia</b>	7	20	-5	-18	1

### **Comprobación Aula 0.01**



### **CONCLUSIONES**

-Niveles muy buenos a pesar de la ocupación del aula debido a la buena ventilación natural de la planta baja.  
-Diferencias entre sensores mínimas.  
-Se puede asegurar que queda verificada la correcta medición por parte del sensor PAX-CO2-18.

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalIZAR"\*

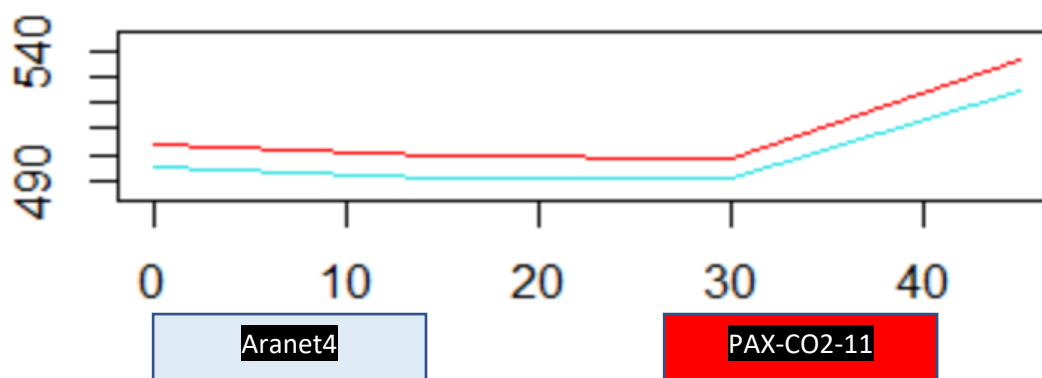
## BETANCOURT: AULA 0.02

### CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN

-Ocupación: entre 20 y 30 personas  
-Ventanas: abiertas  
-Puertas: abiertas  
-Flujo cruzado: Sí  
-Ventilación mecánica: No  
-Medidor: PAX-CO2-11 (MH-Z19b)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B56)  
-Observaciones: las puertas que dan a la calle se encuentran abiertas lo que permite que haya flujo cruzado

VALORES MEDICIÓN (11/02/21)					
	10:00	10:15	10:30	10:45	Media
<b>PAX-CO2-11</b>	504	500	498	537	509,75
<b>ARANET 4</b>	495	491	491	525	500,5
<b>Diferencia</b>	9	9	7	12	9,25

## Comprobación Aula 0.02



### CONCLUSIONES

-Niveles muy buenos a pesar de la ocupación del aula debido a la buena ventilación natural de la planta baja.  
-Diferencias entre sensores mínimas.  
-Se puede asegurar que queda verificada la correcta medición por parte del sensor PAX-CO2-11.

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalIZAR"\*

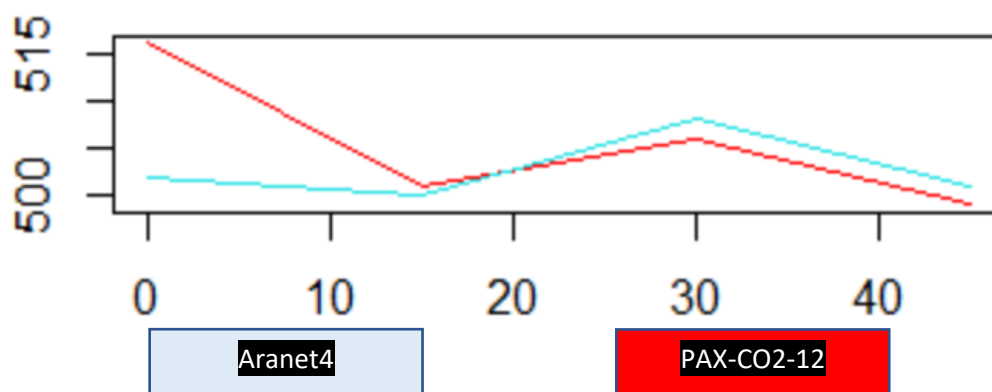
## **BETANCOURT: AULA 0.03**

### **CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN**

-Ocupación: entre 20 y 30 personas  
-Ventanas: abiertas  
-Puertas: abiertas  
-Flujo cruzado: Sí  
-Ventilación mecánica: No  
-Medidor: PAX-CO2-12 (MH-Z19b)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B56)  
-Observaciones: las puertas que dan a la calle se encuentran abiertas lo que permite que haya flujo cruzado

<b>VALORES MEDICIÓN (11/02/21)</b>					
	11:00	11:15	11:30	11:45	Media
<b>PAX-CO2-12</b>	516	501	506	499	505,5
<b>ARANET 4 Unizar</b>	502	500	508	501	502,8
<b>Diferencia</b>	14	1	-2	-2	2,7

## **Comprobación Aula 0.03**



### **CONCLUSIONES**

-Niveles muy buenos a pesar de la ocupación del aula debido a la buena ventilación natural de la planta baja.  
-Diferencias entre sensores mínimas.  
-Mayor diferencia de valores en la primera medición. Se puede achacar a la falta de adaptación al ambiente del sensor de referencia.  
-Se puede asegurar que queda verificada la correcta medición por parte del sensor PAX-CO2-12.

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalIZAR"\*

## **BETANCOURT: AULA 0.04**

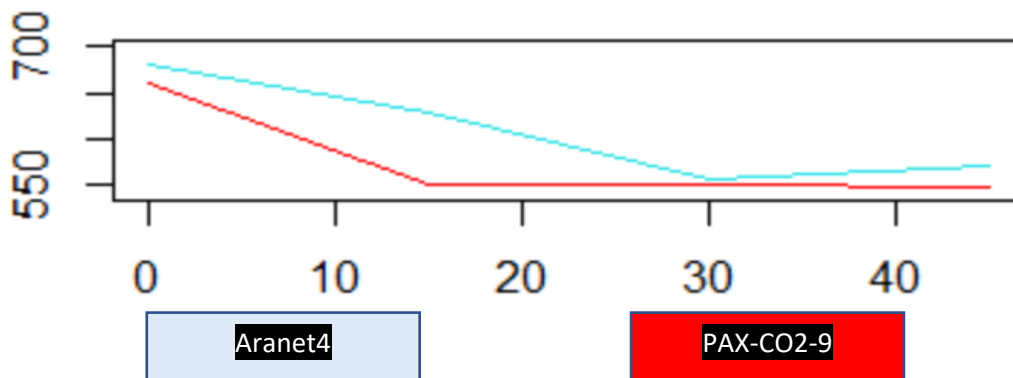
### **CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN**

-Ocupación: entre 20 y 30 personas  
-Ventanas: abiertas  
-Puertas: abiertas  
-Flujo cruzado: Sí  
-Ventilación mecánica: No  
-Medidor: PAX-CO2-9 (MH-Z19b)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00BAE)  
-Observaciones: las ventanas se abren cinco minutos antes al comienzo de la medición y las puertas que dan a la calle se encuentran abiertas lo que permite que haya flujo cruzado

### **VALORES MEDICIÓN (11/02/21)**

	11:00	11:15	11:30	11:45	Media
<b>PAX-CO2-9</b>	661	550	551	547	577,25
<b>ARANET 4</b>	682	628	557	571	609,5
<b>Diferencia</b>	-21	-78	-6	-24	-32,25

### **Comprobación Aula 0.04**



### **CONCLUSIONES**

-Niveles aceptables gracias a la apertura de ventanas al terminar la clase anterior.  
-Diferencias entre sensores no muy relevantes.  
-Al estar por debajo los valores del sensor instalado, se setá ventilando menos de lo necesario.  
-Mayor diferencia de valores en la segunda medición. Se puede interpretar como mayor velocidad de adaptación al ambiente por parte del sensor instalado ya que finalmente alcanzan un mismo valor y se mantienen.  
-Se puede asegurar que queda verificada la correcta medición por parte del sensor PAX-CO2-9.

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señaliZAR"\*

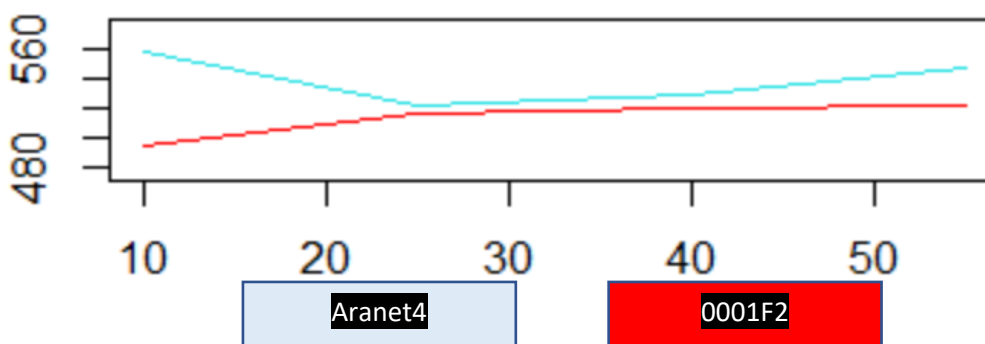
## **BETANCOURT: AULA 1.01**

### **CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN**

-Ocupación: aula vacía  
-Ventanas: cerradas  
-Puertas: cerradas  
-Flujo cruzado: No  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: 0001F2 (MH-Z16)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B50)

<b>VALORES MEDICIÓN (19/02/21)</b>					
	10:10	10:25	10:40	10:55	Media
<b>0001F2</b>	493	515	519	521	512
<b>ARANET 4</b>	557	521	529	546	538,25
<b>Diferencia</b>	-64	-6	-10	-25	-26,25

### **Comprobación Aula 1.01**



### **CONCLUSIONES**

-Niveles muy buenos por encontrarse el aula desocupada.  
-Diferencias entre sensores mínimas.  
-Mayor diferencia de valores en la primera medición. Se puede achacar a la falta de adaptación al ambiente del sensor de referencia.  
-Se puede asegurar que queda verificada la correcta medición por parte del sensor 0001F2.

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalIZAR"\*

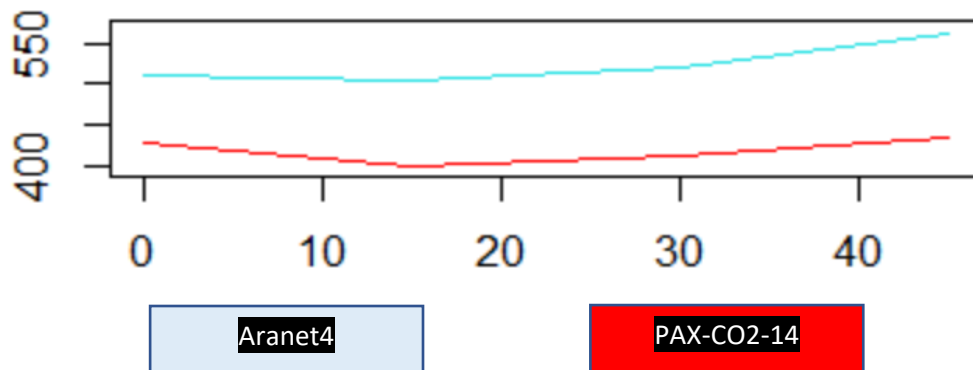
## **BETANCOURT: AULA 1.02**

### **CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN**

-Ocupación: entre 15 y 25 personas  
-Ventanas: abiertas  
-Puertas: abiertas  
-Flujo cruzado: No  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: PAX-CO2-14 (MH-Z19b)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00BAE)  
-Observaciones: Aunque estén las ventanas y las puertas abiertas no hay flujo cruzado debido a que las puertas dan al pasillo donde no entra aire exterior.

VALORES MEDICIÓN (11/02/21)					
	12:00	12:15	12:30	12:45	Media
<b>PAX-CO2-14</b>	427	400	413	436	422
<b>ARANET 4</b>	512	503	519	563	524
<b>Diferencia</b>	-85	-103	-106	-127	-102

## **Comprobación Aula 1.02**



### **CONCLUSIONES**

-Niveles muy buenos a pesar de la ocupación del aula  
-Diferencias considerables entre sensores (aproximadamente 100ppm de media por debajo del equipo de medición de referencia)  
-Al estar por debajo los valores del sensor instalado, se está ventilando menos de lo necesario.

**-Se recomienda la revisión del sensor PAX-CO2-14.**

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalIZAR"\*

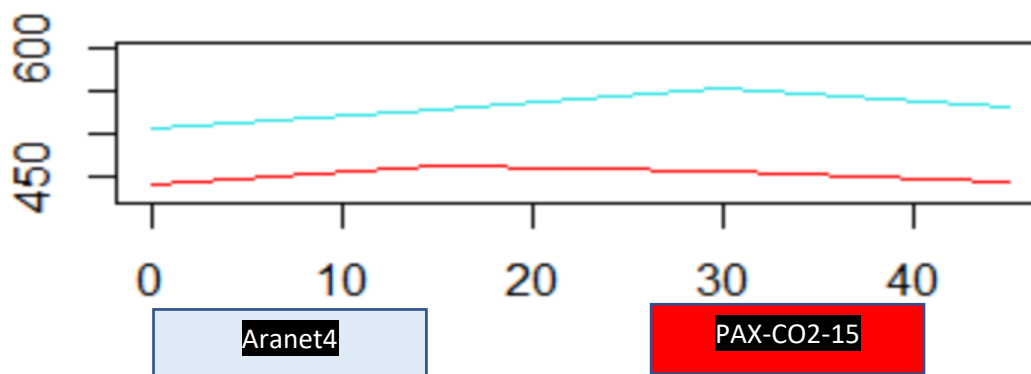
## **BETANCOURT: AULA 1.04**

### **CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN**

-Ocupación: entre 15 y 25 personas  
-Ventanas: abiertas  
-Puertas: abiertas  
-Flujo cruzado: No  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: PAX-CO2-15 (MH-Z19b)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B56)  
-Observaciones: Aunque estén las ventanas y las puertas abiertas no hay flujo cruzado debido a que las puertas dan al pasillo donde no entra aire exterior.

<b>VALORES MEDICIÓN (11/02/21)</b>					
	12:00	12:15	12:30	12:45	Media
<b>PAX-CO2-15</b>	440	461	454	441	449
<b>ARANET 4</b>	505	529	553	530	529,25
<b>Diferencia</b>	-65	-68	-99	-89	-80,25

### **Comprobación Aula 1.04**



### **CONCLUSIONES**

-Niveles muy buenos a pesar de la ocupación del aula  
-Diferencias considerables entre sensores (aproximadamente 80ppm de media por debajo del equipo de medición de referencia)  
-Al estar por debajo los valores del sensor instalado, se está ventilando menos de lo necesario.

**-Se recomienda la revisión del sensor PAX-CO2-15.**

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalIZAR"\*

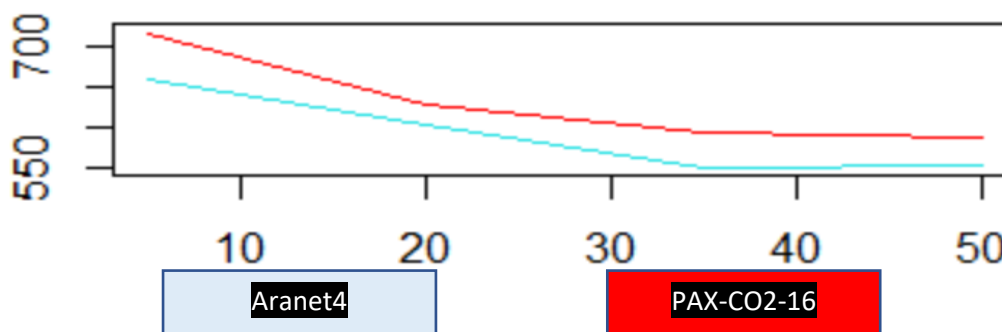
## **BETANCOURT: AULA 2.01**

### **CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN**

-Ocupación: entre 15 y 25 personas  
-Ventanas: abiertas  
-Puertas: abiertas  
-Flujo cruzado: Sí  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: PAX-CO2-16 (MH-Z19b)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00BAE)  
-Observaciones: las ventanas se abren cinco minutos antes al comienzo de la medición y las puertas que dan a la calle se encuentran abiertas lo que permite que haya flujo cruzado.

<b>VALORES MEDICIÓN (12/02/21)</b>					
	10:05	10:20	10:35	10:50	Media
<b>PAX-CO2-16</b>	716	628	594	589	631,75
<b>ARANET 4</b>	659	603	552	554	592
<b>Diferencia</b>	57	25	42	35	39,75

### **Comprobación Aula 2.01**



### **CONCLUSIONES**

-Niveles aceptables gracias a la ventilación natural al comienzo de la clase.  
-Diferencias entre sensores no muy relevantes.  
-Se puede asegurar que queda verificada la correcta medición por parte del sensor PAX-CO2-16.

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalIZAR"\*

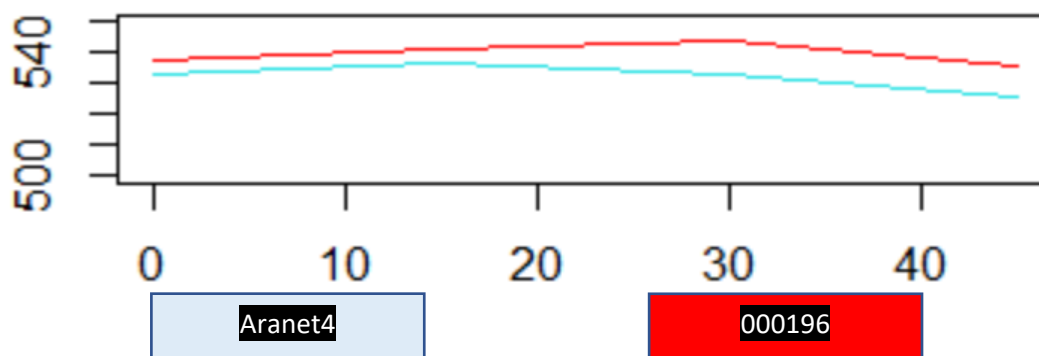
## **BETANCOURT: AULA 2.02**

### **CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN**

-Ocupación: aula vacía  
-Ventanas: cerradas  
-Puertas: abiertas  
-Flujo cruzado: No  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: 000196 (MH-Z16)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B56)

<b>VALORES MEDICIÓN (12/02/21)</b>					
	10:00	10:15	10:30	10:45	Media
<b>000196</b>	538	541	544	536	539,75
<b>ARANET 4</b>	533	537	533	526	532,25
<b>Diferencia</b>	5	4	11	10	7,5

## **Comprobación Aula 2.02**



### **CONCLUSIONES**

-Niveles buenos por encontrarse el aula desocupada.  
-Diferencias entre sensores no muy relevantes.  
-Se puede asegurar que queda verificada la correcta medición por parte del sensor 000196.

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalIZAR"\*

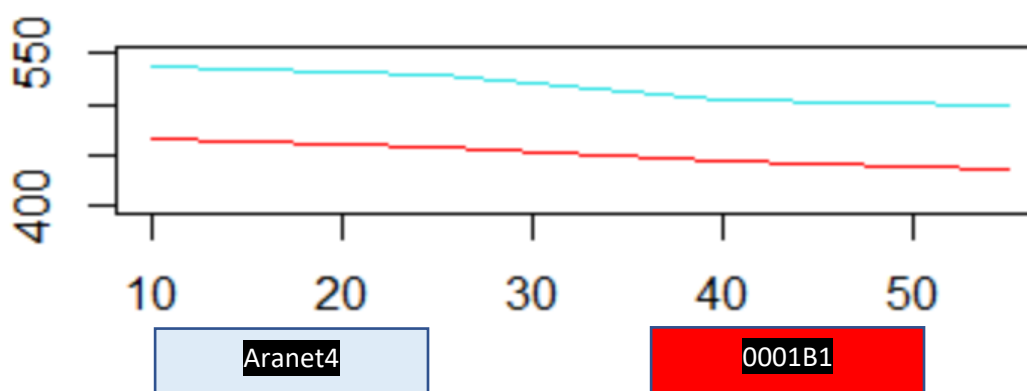
## **BETANCOURT: AULA 2.07**

### **CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN**

-Ocupación: aula vacía  
-Ventanas: cerradas  
-Puertas: abiertas  
-Flujo cruzado: No  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: 0001B1 (MH-Z16)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B5B)

<b>VALORES MEDICIÓN (18/02/21)</b>					
	11:10	11:25	11:40	11:55	Media
<b>0001B1</b>	467	458	446	437	452
<b>ARANET 4</b>	537	528	505	499	517,25
<b>Diferencia</b>	-70	-70	-59	-62	-65,25

## **Comprobación Aula 2.07**



### **CONCLUSIONES**

-Niveles buenos por encontrarse el aula desocupada.  
-Diferencias considerables entre sensores (aproximadamente 65ppm de media por debajo del equipo de medición de referencia)  
-Al estar por debajo los valores del sensor instalado, se está ventilando menos de lo necesario.

**-Se recomienda la revisión del sensor 0001B1.**

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalIZAR"\*

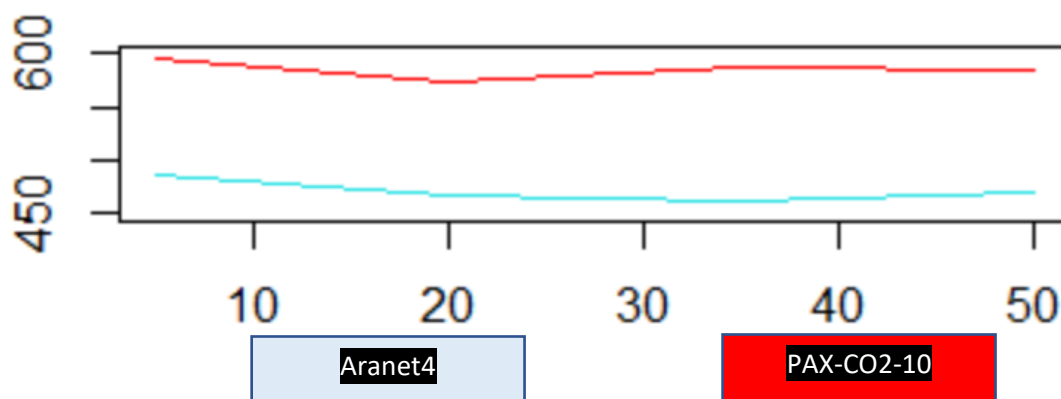
## **BETANCOURT: AULA 3.07**

### **CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN**

-Ocupación: aula vacía  
-Ventanas: cerradas  
-Puertas: cerradas  
-Flujo cruzado: No  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: PAX-CO2-10 (MH-Z19b)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00BAE)

<b>VALORES MEDICIÓN (18/02/21)</b>					
	10:05	10:20	10:35	10:50	Media
<b>PAX-CO2-10</b>	596,5	572,5	588,5	585	585,625
<b>ARANET 4</b>	487	468	462	470	471,75
<b>Diferencia</b>	109,5	104,5	126,5	115	113,875

## **Comprobación Aula 3.07**



### **CONCLUSIONES**

-Niveles buenos por encontrarse el aula desocupada.  
-Diferencias considerables entre sensores (aproximadamente 115ppm de media por encima del equipo de medición de referencia)  
-Al estar muy por encima los valores del sensor instalado, se está ventilando más de lo necesario lo que conllevaría un mayor gasto energético debido a la ventilación.  
**-Se recomienda la revisión del sensor 0001B1.**

*\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalIZAR"\**

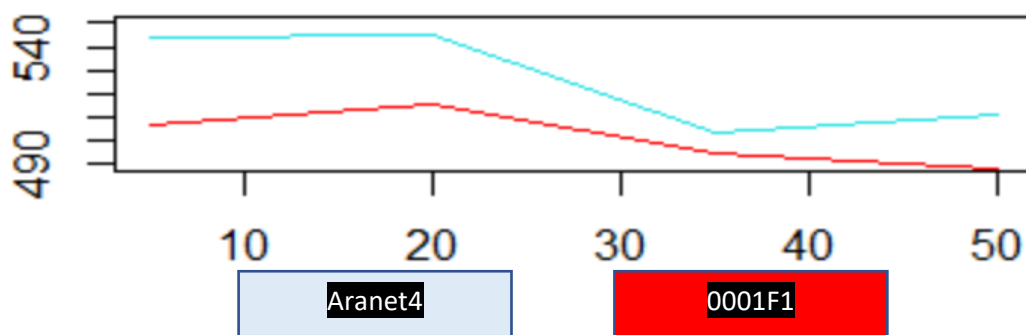
## **BETANCOURT: AULA 3.08**

### **CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN**

-Ocupación: entre 15 y 25 personas  
-Ventanas: abiertas  
-Puertas: abiertas  
-Flujo cruzado: Sí  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: 0001F1 (MH-Z16)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B5B)  
-Observaciones: los despachos del otro lado del pasillo tienen puertas y ventanas abiertas lo que permite el flujo cruzado

<b>VALORES MEDICIÓN (18/02/21)</b>					
	10:05	10:20	10:35	10:50	Media
<b>0001F1</b>	507	516	495	488	501,5
<b>ARANET 4</b>	544	545	503	511	525,75
<b>Diferencia</b>	-37	-29	-8	-23	-24,25

### **Comprobación Aula 3.08**



### **CONCLUSIONES**

-Niveles buenos gracias a la ventilación natural  
-Diferencias entre sensores no muy relevantes.  
-Se puede asegurar que queda verificada la correcta medición por parte del sensor 0001F1.

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalizAR"\*

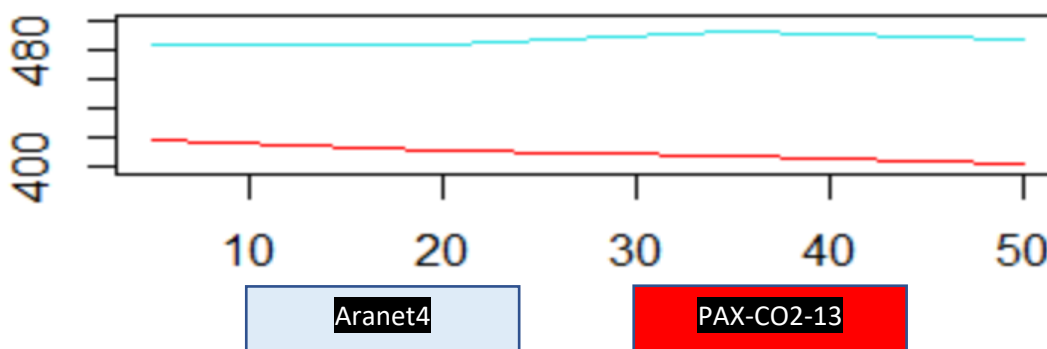
## **BETANCOURT: AULA 3.09**

### **CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN**

-Ocupación: aula vacía  
-Ventanas: cerradas  
-Puertas: cerradas  
-Flujo cruzado: No  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: PAX-CO2-13 (MH-Z19b)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B50)

<b>VALORES MEDICIÓN (18/02/21)</b>					
	10:05	10:20	10:35	10:50	Media
<b>PAX-CO2-13</b>	418	412,5	407,5	402	410
<b>ARANET 4</b>	485	485	493	488	487,75
<b>Diferencia</b>	-67	-72,5	-85,5	-86	-77,75

## **Comprobación Aula 3.09**



### **CONCLUSIONES**

-Niveles buenos por encontrarse el aula desocupada.  
-Diferencias considerables entre sensores (aproximadamente 80ppm de media por debajo del equipo de medición de referencia)  
-Al estar muy por debajo los valores del sensor instalado, se está ventilando menos de lo necesario.  
**-Se recomienda la revisión del sensor PAX-CO2-13.**

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señaliZAR"\*

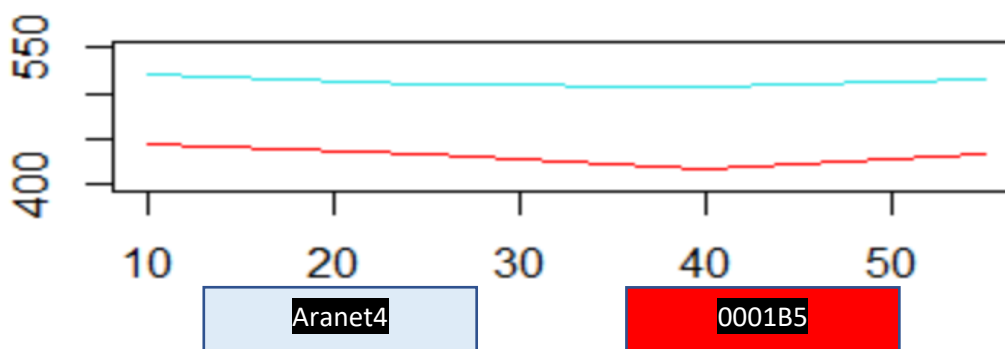
## BETANCOURT: PASILLO PLANTA 2

### CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN

- Ocupación: una clase de 20 personas ha permanecido en el pasillo durante 10 minutos mientras estaban en el descanso
- Ventanas: cerradas
- Puertas: cerradas
- Flujo cruzado: No
- Ventilación Mecánica: No
- Medidor: 0001B5 (MH-Z16)
- Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00BAE)
- Observaciones: las ventanas de la segunda planta durante la medición estuvieron cerradas.

VALORES MEDICIÓN (18/02/21)					
	11:10	11:25	11:40	11:55	Media
<b>0001B5</b>	446	434	418	434	433
<b>ARANET 4</b>	522	510	507	515	513,5
<b>Diferencia</b>	-76	-76	-89	-81	-80,5

### Comprobación Pasillo Planta 2



### CONCLUSIONES

- Niveles buenos por la poca afluencia de alumnos.
- Diferencias considerables entre sensores (aproximadamente 80ppm de media por debajo del equipo de medición de referencia)
- Al estar muy por debajo los valores del sensor instalado, se está ventilando menos de lo necesario.

**-Se recomienda la revisión del sensor 0001B5.**

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalizAR"\*

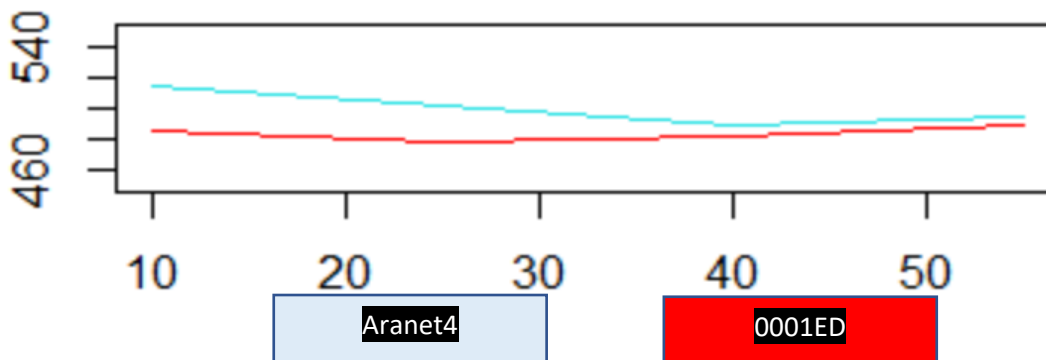
## BETANCOURT: SALÓN DE ACTOS

### CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN

- Ocupación: entre 15 y 25 personas
- Ventanas: cerradas
- Puertas: abiertas
- Flujo cruzado: No
- Ventilación Mecánica: Sí
- Medidor: 0001ED (MH-Z16)
- Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00BAE)

VALORES MEDICIÓN (19/02/21)					
	10:10	10:25	10:40	10:55	Media
<b>0001ED</b>	485	478	481	488	483
<b>ARANET 4</b>	515	501	488	498	500,5
<b>Diferencia</b>	-30	-23	-7	-10	-17,5

## Comprobación Salón De Actos



### CONCLUSIONES

- Niveles buenos gracias a la ventilación mecánica.
- Diferencias entre sensores no muy relevantes.
- Se puede asegurar que queda verificada la correcta medición por parte del sensor 0001ED.

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalizar"\*

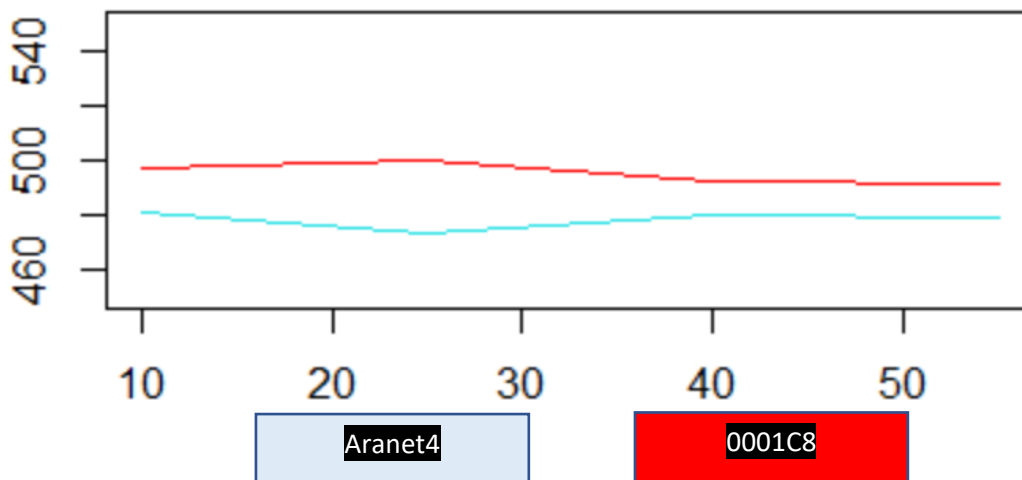
## BETANCOURT: SALA DE ORDENADORES NUEVA

### CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN

-Ocupación: aula vacía  
-Ventanas: cerradas  
-Puertas: cerradas  
-Flujo cruzado: No  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: 0001C8 (MH-Z16)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00BAE)

VALORES MEDICIÓN (19/02/21)					
	11:10	11:25	11:40	11:55	Media
<b>0001C8</b>	497	500	492	491	495
<b>ARANET 4</b>	481	473	480	479	478,25
<b>Diferencia</b>	16	27	12	12	16,75

## Comprobación Sala de Ordenadores Nueva



### CONCLUSIONES

-Niveles buenos por encontrarse el aula desocupada.  
-Diferencias entre sensores no muy relevantes.  
-Se puede asegurar que queda verificada la correcta medición por parte del sensor 0001C8.

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalizar"\*

### 3.2. Edificio Torres Quevedo

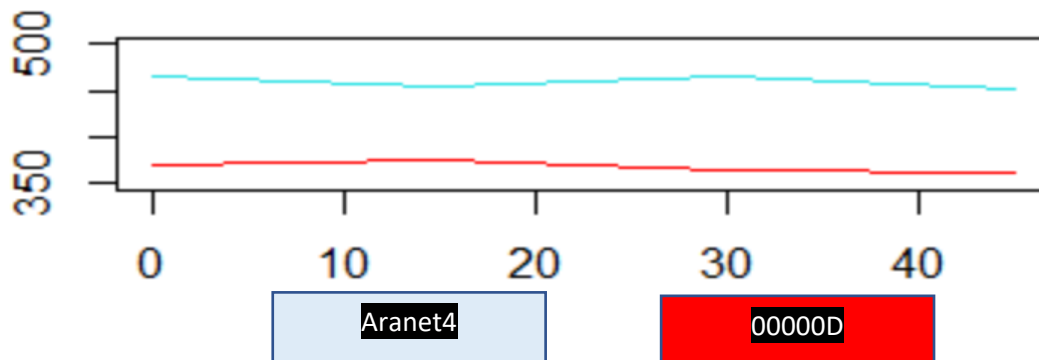
#### TORRES QUEVEDO: AULA 17

##### CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN

-Ocupación: aula vacía  
-Ventanas: cerradas  
-Puertas: cerradas  
-Flujo cruzado: No  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: 00000D (MH-Z16)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00BAE)

VALORES MEDICIÓN (22/02/21)					
	11:00	11:15	11:30	11:45	Media
<b>00000D</b>	371	375	365	363	368,5
<b>ARANET 4</b>	465	456	467	453	460,25
<b>Diferencia</b>	-94	-81	-102	-90	-91,75

### Comprobación Aula 17



##### CONCLUSIONES

-Niveles buenos por encontrarse el aula desocupada.  
-Diferencias considerables entre sensores (aproximadamente 90ppm de media por debajo del equipo de medición de referencia)  
-Al estar muy por debajo los valores del sensor instalado, se está ventilando menos de lo necesario.  
**-Se recomienda la revisión del sensor 00000D.**

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalIZAR"\*

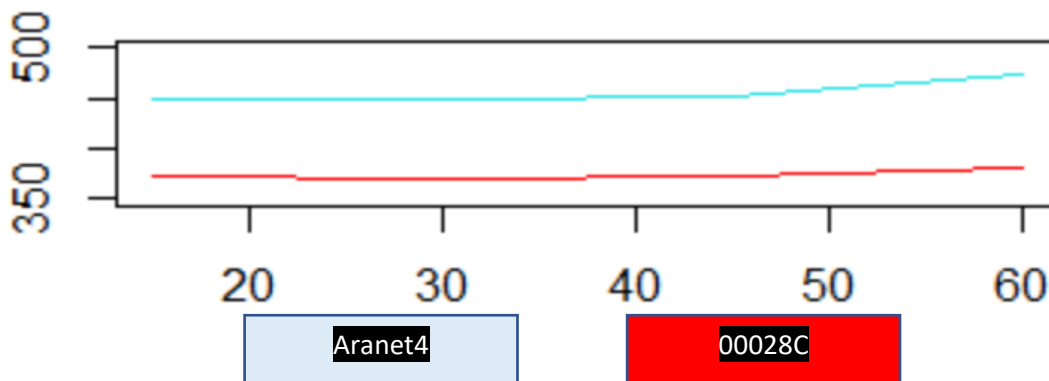
## TORRES QUEVEDO: AULA 20b

### CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN

-Ocupación: aula vacía  
-Ventanas: cerradas  
-Puertas: cerradas  
-Flujo cruzado: No  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: 00028C (MH-Z16)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B5B)

VALORES MEDICIÓN (22/02/21)					
	12:15	12:30	12:45	13:00	Media
<b>00028C</b>	374	370	373	382	374,75
<b>ARANET 4</b>	450	448	453	473	456
<b>Diferencia</b>	-76	-78	-80	-91	-81,25

### Comprobación Aula 20b



### CONCLUSIONES

-Niveles buenos por encontrarse el aula desocupada.  
-Diferencias considerables entre sensores (aproximadamente 80ppm de media por debajo del equipo de medición de referencia)  
-Al estar muy por debajo los valores del sensor instalado, se está ventilando menos de lo necesario.  
**-Se recomienda la revisión del sensor 00028C.**

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalIZAR"\*

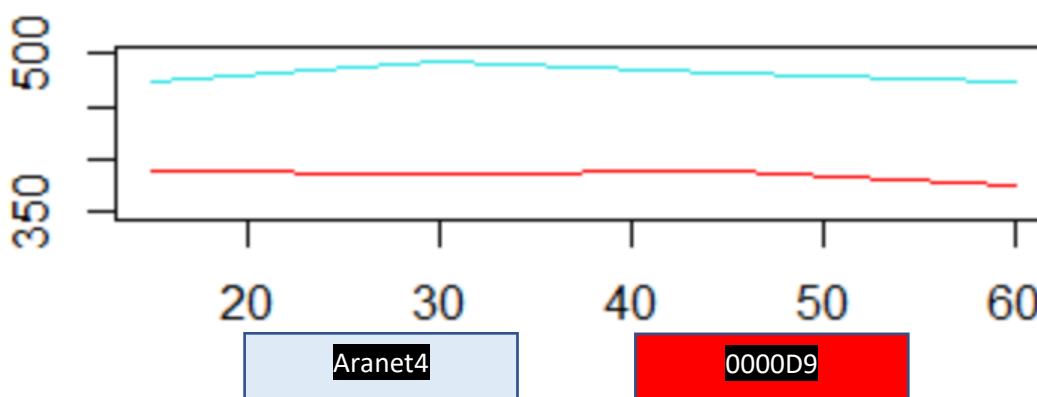
## TORRES QUEVEDO: AULA 21

### CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN

-Ocupación: entre 15 y 25 personas  
-Ventanas: abiertas  
-Puertas: abiertas  
-Flujo cruzado: No  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: 0000D9 (MH-Z16)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B50)  
-Observaciones: se considera que, debido a que las puertas dan a un espacio cerrado de gran volumen, se dificulta el movimiento de aire, por lo que no hay flujo cruzado.

VALORES MEDICIÓN (22/02/21)					
	12:15	12:30	12:45	13:00	Media
<b>0000D9</b>	389	387	390	376	385,5
<b>ARANET 4</b>	475	493	482	473	480,75
<b>Diferencia</b>	-86	-106	-92	-97	-95,25

### Comprobación Aula 21



### CONCLUSIONES

-Niveles buenos gracias a la ventilación natural.  
-Diferencias considerables entre sensores (aproximadamente 95ppm de media por debajo del equipo de medición de referencia)  
-Al estar muy por debajo los valores del sensor instalado, se está ventilando menos de lo necesario.

**-Se recomienda la revisión del sensor 0000D9.**

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señaliZAR"\*

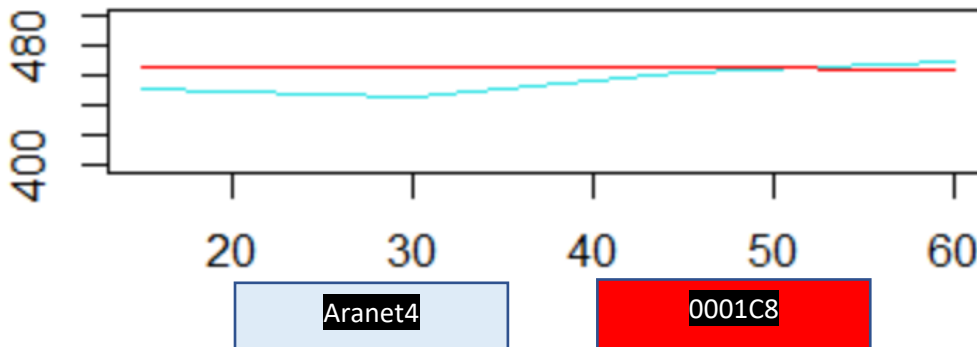
## TORRES QUEVEDO: SALA DE ORDENADORES N°5

### CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN

-Ocupación: aula vacía  
-Ventanas: cerradas  
-Puertas: cerradas  
-Flujo cruzado: No  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: 0001C8 (MH-Z16)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00BAE)

VALORES MEDICIÓN (22/02/21)					
	12:15	12:30	12:45	13:00	Media
<b>0001C8</b>	466	466	467	465	466
<b>ARANET 4</b>	452	447	463	470	458
<b>Diferencia</b>	14	19	4	-5	8

## Comprobación Sala de Ordenadores N°5



### CONCLUSIONES

-Niveles buenos por encontrarse el aula desocupada.  
-Diferencias entre sensores no muy relevantes.  
-Se puede asegurar que queda verificada la correcta medición por parte del sensor 0001C8.

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalIZAR"\*

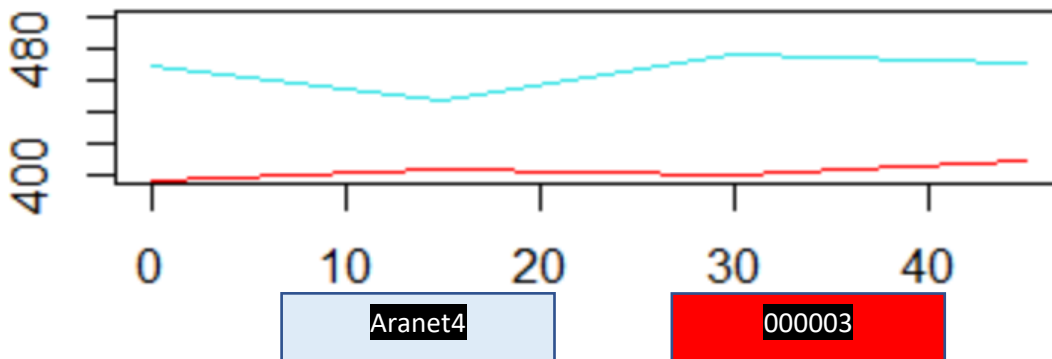
## TORRES QUEVEDO: SALA DE ESTUDIOS

### CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN

-Ocupación: aula vacía  
-Ventanas: cerradas  
-Puertas: cerradas  
-Flujo cruzado: No  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: 000003 (MH-Z16)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B50)

VALORES MEDICIÓN (22/02/21)					
	11:00	11:15	11:30	11:45	Media
<b>000003</b>	397	404	401	410	403
<b>ARANET 4</b>	469	448	477	472	466,5
<b>Diferencia</b>	-72	-44	-76	-62	-63,5

## Comprobación Sala de Estudios



### CONCLUSIONES

-Niveles buenos por encontrarse el aula desocupada.  
-Diferencias considerables entre sensores (aproximadamente 65ppm de media por debajo del equipo de medición de referencia)  
-Al estar muy por debajo los valores del sensor instalado, se está ventilando menos de lo necesario.  
**-Se recomienda la revisión del sensor 000003.**

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalizAR"\*

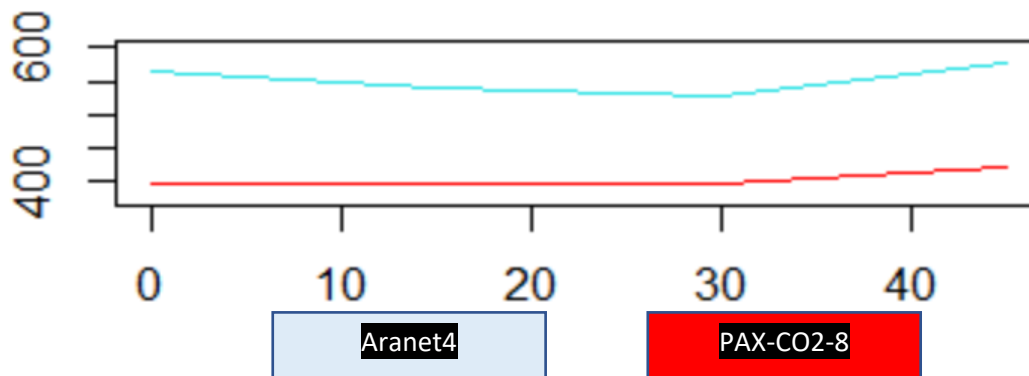
## TORRES QUEVEDO: SECRETARÍA EINA

### CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN

- Ocupación: entre 5 y 15 personas
- Ventanas: abiertas
- Puertas: cerradas
- Flujo cruzado: No
- Ventilación Mecánica: Sí
- Medidor: PAX-CO2-008 (MH-Z19b)
- Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B5B)

VALORES MEDICIÓN (22/02/21)					
	11:00	11:15	11:30	11:45	Media
<b>PAX-CO2-8</b>	398	397	399	422,5	404,125
<b>ARANET 4</b>	563	542	526	576	551,75
<b>Diferencia</b>	-165	-145	-127	-153,5	-147,625

### Comprobación Secretaría EINA



### CONCLUSIONES

- Niveles buenos gracias a la ventilación mecánica.
- Diferencias considerables entre sensores (aproximadamente 150ppm de media por debajo del equipo de medición de referencia)
- Al estar muy por debajo los valores del sensor instalado, se está ventilando menos de lo necesario.
- Se recomienda la revisión del sensor PAX-CO2-8.**

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señaliZAR"\*

### 3.3.Edificio Ada Byron

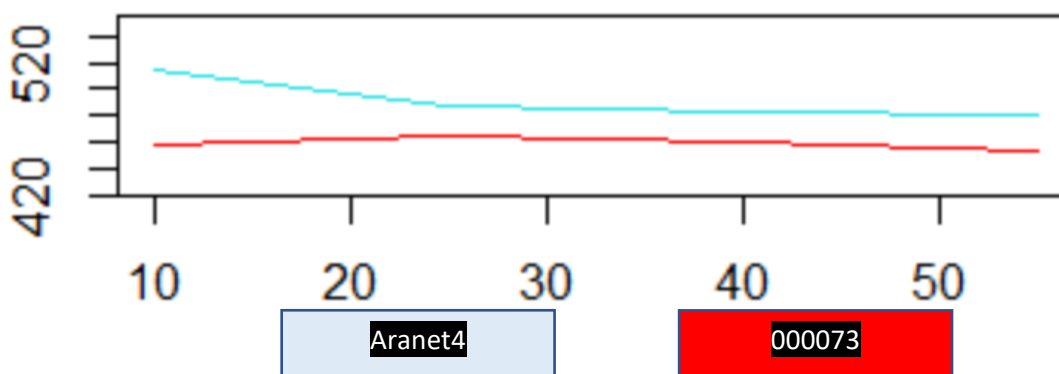
#### ADA BYRON: A06

##### CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN

- Ocupación: aula vacía
- Ventanas: cerradas
- Puertas: cerradas
- Flujo cruzado: No
- Ventilación Mecánica: No
- Medidor: 000073 (MH-Z16)
- Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B50)

VALORES MEDICIÓN (24/02/21)					
	9:10	9:25	9:40	9:55	Media
<b>000073</b>	457	464	460	454	458,75
<b>ARANET 4</b>	515	487	483	481	491,5
<b>Diferencia</b>	-58	-23	-23	-27	-32,75

### Comprobación A06



##### CONCLUSIONES

- Niveles muy buenos por encontrarse el aula desocupada.
- Aunque los niveles del sensor instalado son menores que los del sensor de referencia, la diferencia es pequeña (aproximadamente 30ppm).
- Mayor diferencia de valores en la primera medición. Se puede achacar a la falta de adaptación al ambiente del sensor de referencia.
- Se puede asegurar que queda verificada la correcta medición por parte del sensor 000073.

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalizAR"\*

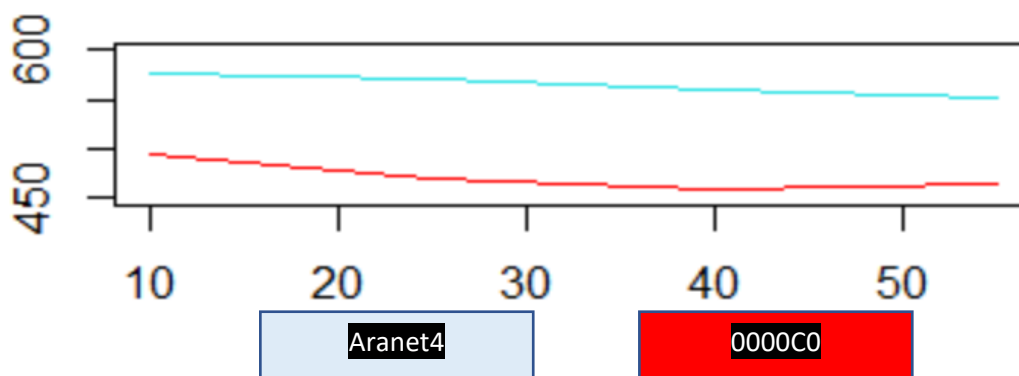
## ADA BYRON: PASILLO PLANTA 1

### CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN

-Ocupación: pasillo transitado por 10 personas a lo largo de la medición  
-Ventanas: cerradas  
-Puertas: cerradas  
-Flujo cruzado: No  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: 0000C0 (MH-Z16)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B50)  
-Observaciones: las ventanas de la primera planta durante la medición estuvieron cerradas.

VALORES MEDICIÓN (24/02/21)					
	10:10	10:25	10:40	10:55	Media
<b>0000C0</b>	495	469	458	466	472
<b>ARANET 4</b>	576	571	560	551	564,5
<b>Diferencia</b>	-81	-102	-102	-85	-92,5

### Comprobación Pasillo Planta 1



### CONCLUSIONES

-Niveles buenos por la poca afluencia de alumnos.  
-Diferencias considerables entre sensores (aproximadamente 90ppm de media por debajo del equipo de medición de referencia)  
-Al estar muy por debajo los valores del sensor instalado, se está ventilando menos de lo necesario.  
**-Se recomienda la revisión del sensor 0000C0.**

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalIZAR"\*

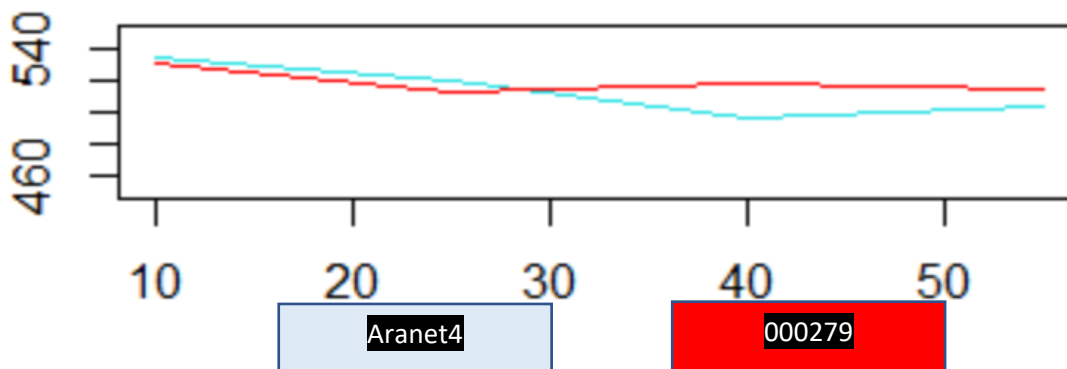
## ADA BYRON: SALÓN DE ACTOS

### CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN

- Ocupación: entre 15 y 25 personas
- Ventanas: cerradas
- Puertas: abiertas
- Flujo cruzado: No
- Ventilación Mecánica: Sí
- Medidor: 000279 (MH-Z16)
- Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B5B)

VALORES MEDICIÓN (24/02/21)					
	10:10	10:25	10:40	10:55	Media
<b>000279</b>	531	513	518	514	519
<b>ARANET 4</b>	534	519	496	504	513,25
<b>Diferencia</b>	-3	-6	22	10	5,75

## Comprobación Salón de Actos



### CONCLUSIONES

- Niveles buenos gracias a la ventilación mecánica.
- Diferencias entre sensores no muy relevantes.
- Se puede asegurar que queda verificada la correcta medición por parte del sensor 000279.

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señalIZAR"\*

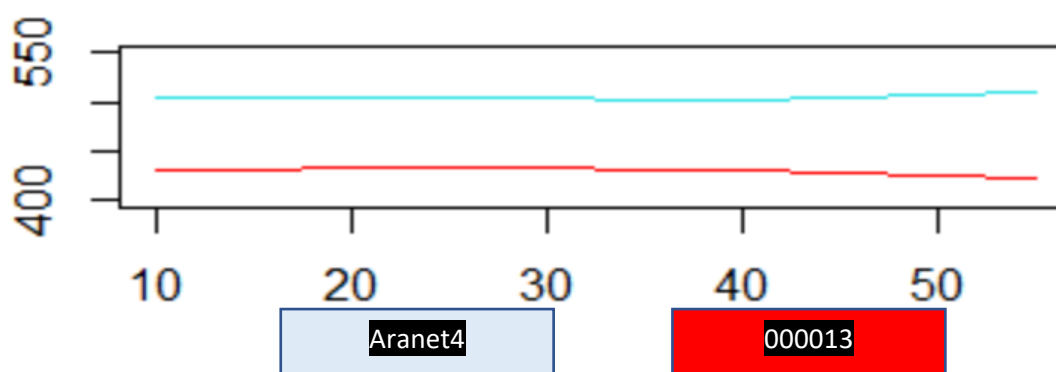
## ADA BYRON: SEMINARIO A22

### CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN

-Ocupación: aula vacía  
-Ventanas: cerradas  
-Puertas: cerradas  
-Flujo cruzado: No  
-Ventilación Mecánica: Sí  
-Medidor: 000013 (MH-Z16)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B50)

VALORES MEDICIÓN (24/02/21)					
	11:10	11:25	11:40	11:55	Media
<b>000013</b>	430	435	431	422	429,5
<b>ARANET 4</b>	504	505	503	509	505,25
<b>Diferencia</b>	-74	-70	-72	-87	-75,75

## Comprobación Seminario A22



### CONCLUSIONES

-Niveles buenos por estar el aula desocupada.  
-Diferencias considerables entre sensores (aproximadamente 75ppm de media por debajo del equipo de medición de referencia)  
-Al estar muy por debajo los valores del sensor instalado, se está ventilando menos de lo necesario.

**-Se recomienda la revisión del sensor 000013.**

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señaliZAR"\*

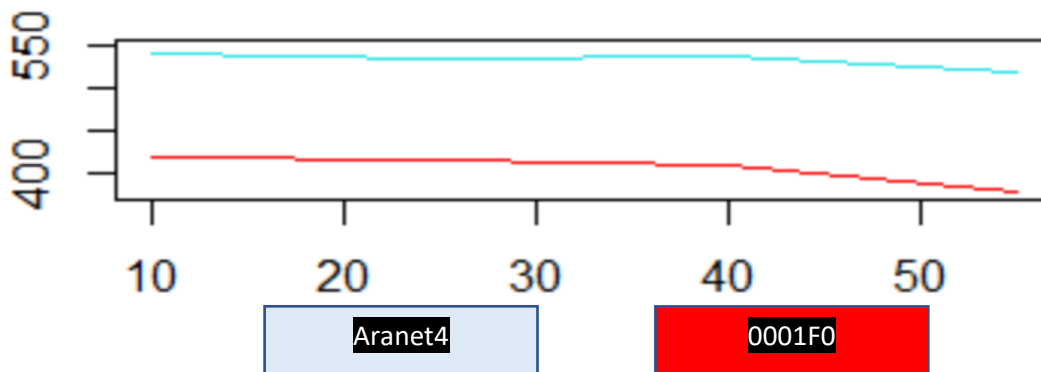
## ADA BYRON: LABORATORIO 4.02

### CONDICIONES DEL AULA DURANTE LA MEDICIÓN

-Ocupación: entre 5 y 10 personas  
-Ventanas: abiertas  
-Puertas: abiertas  
-Flujo cruzado: No  
-Ventilación Mecánica: No  
-Medidor: 0001F0 (MH-Z16)  
-Medidor de referencia: Aranet4 Pro (00B5B)  
-Observaciones: las puertas dan al pasillo dónde las ventanas y las puertas de los despachos están cerradas por lo que no hay flujo cruzado

VALORES MEDICIÓN (24/02/21)					
	11:10	11:25	11:40	11:55	Media
<b>0001F0</b>	417	416	409	376	404,5
<b>ARANET 4</b>	541	535	539	521	534
<b>Diferencia</b>	-124	-119	-130	-145	-129,5

### Comprobación Laboratorio 4.02



### CONCLUSIONES

-Niveles buenos gracias a la ventilación natural.  
-Diferencias considerables entre sensores (aproximadamente 130ppm de media por debajo del equipo de medición de referencia)  
-Al estar muy por debajo los valores del sensor instalado, se está ventilando menos de lo necesario.

**-Se recomienda la revisión del sensor 0001F0.**

\*No se han medido datos de Temperatura y Humedad debido a que en la fecha de la medición no se reflejaban estos datos en "señaliZAR"\*

#### **4.CONCLUSIONES**

A continuación se puede ver el estado de todos los equipos de medición instalados en las aulas según el estudio realizado:

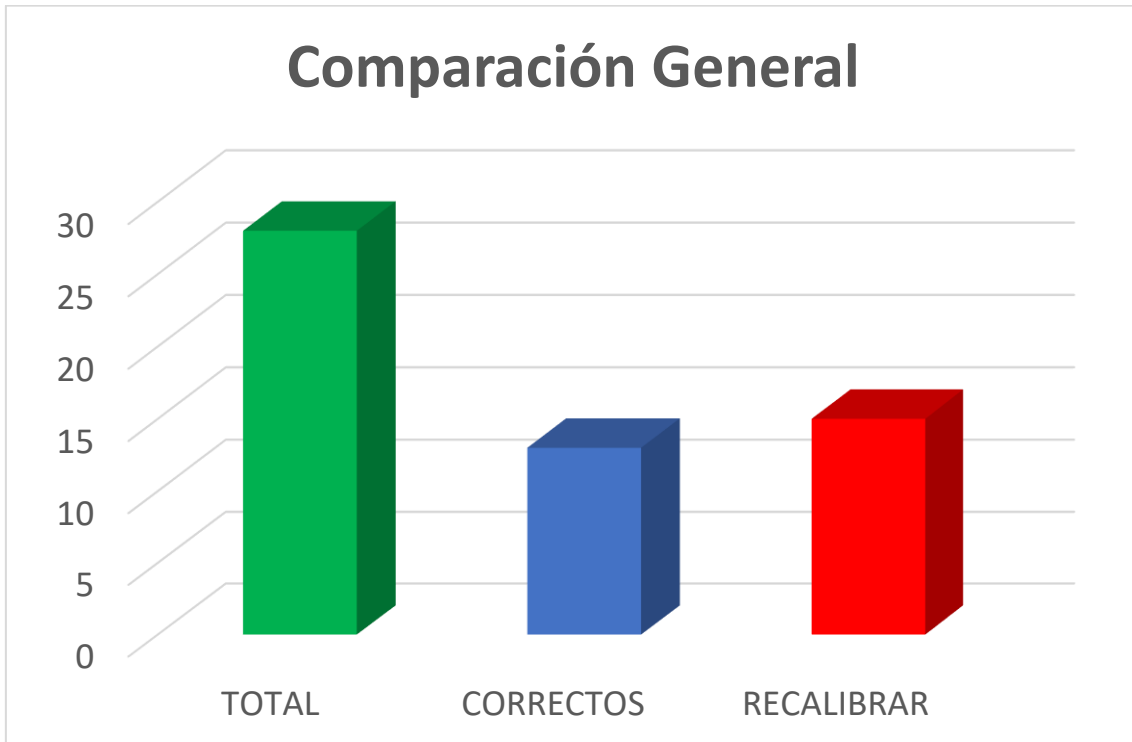
EDIFICIO	AULA	IDENTIFICADOR SENSOR	ESTADO
Torres Quevedo	Sala de Estudios TQ	000003	Se recomienda revisión
	Secretaría EINA	PAX-CO2-008	Se recomienda revisión
	Aula Taller	0000D0	No se recibe señal
	Aula 17	00000D	Se recomienda revisión
	Aula 20B	00028C	Se recomienda revisión
	Aula 21	10000B	Se recomienda revisión
	Aula 25		Pendiente de instalación
	Laboratorio Ing. Eléctrica		Pendiente de instalación
	Laboratorio Química		Pendiente de instalación
	Cafetería/Comedor		Pendiente de instalación
Sala de Ordenadores 5	0001C8	Funciona correctamente	

EDIFICIO	AULA	IDENTIFICADOR SENSOR	ESTADO
Ada Byron	A06	000073	Funciona correctamente
	Laboratorio LSI L0.05B	000020	No se recibe señal
	Pasillo P1 ADA	0000C0	Se recomienda revisión
	Salón de Actos	000279	Funciona correctamente
	Seminario A.22	000013	Se recomienda revisión
	Sala de Estudios	0001D5	No se recibe señal
	Laboratorio 4.02	0001F0	Se recomienda revisión
	Laboratorio 4.03		Pendiente de instalación
Cafetería/Comedor		Pendiente de instalación	

EDIFICIO	AULA	IDENTIFICADOR SENSOR	ESTADO
Betancourt	Sala de Ordenadores Nueva	0001C8	Funciona correctamente
	Cafetería/Comedor		Pendiente de instalación
	Sala de Estudios Tomas Pollán	0000A0	Se recomienda revisión
	Salón de Actos	0001ED	Funciona correctamente
	Pasillo P2 Betan	0001B5	Se recomienda revisión
	Despacho 01.690	0000BE	No se recibe señal
	Aula 0.01	PAX-CO2-018	Funciona correctamente
	Aula 0.02	PAX-CO2-011	Funciona correctamente
	Aula 0.03	PAX-CO2-012	Funciona correctamente
	Aula 0.04	PAX-CO2-009	Funciona correctamente
	Aula 1.01	0001F2	Funciona correctamente
	Aula 1.02	PAX-CO2-014	Se recomienda revisión
	Aula 1.04	PAX-CO2-015	Se recomienda revisión
	Aula 2.01	PAX-CO2-016	Funciona correctamente
	Aula 2.02	000196	Funciona correctamente
	Aula 2.07	0001B1	Se recomienda revisión
	Aula 3.07	PAX-CO2-010	Se recomienda revisión
	Aula 3.08	0001F1	Funciona correctamente
Aula 3.09	PAX-CO2-013	Se recomienda revisión	

A continuación se realiza un análisis de los resultados obtenidos dejando fuera del mismo a los equipos de medición que están pendientes de instalación, así como los equipos de los que no se recibe señal.

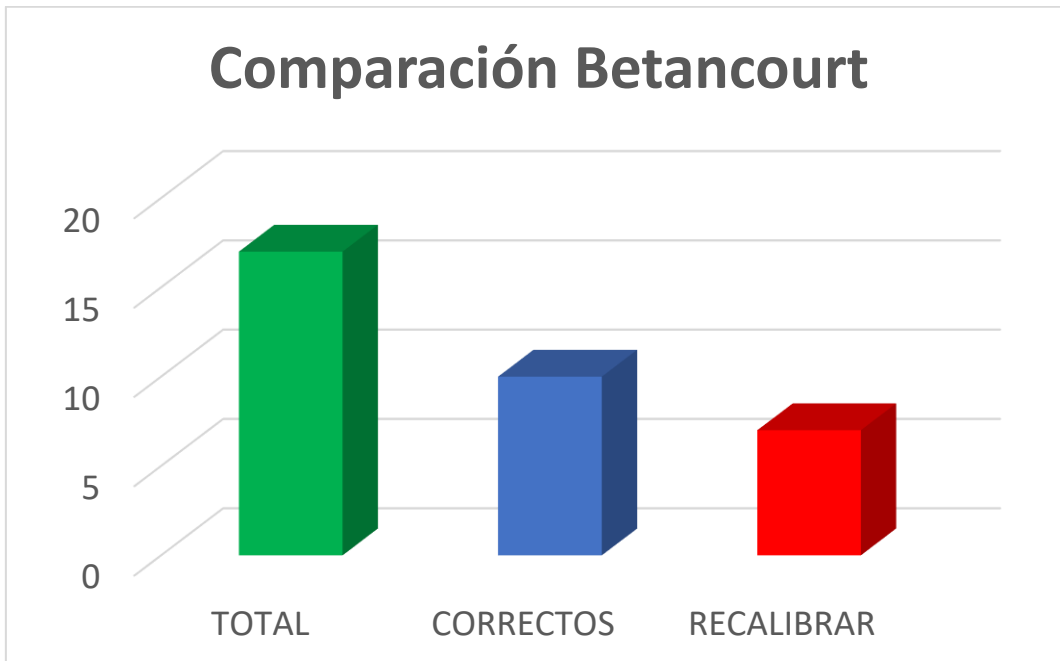
El número total de equipos de medición instalados (sin contar los mencionados anteriormente) es de 28 de los cuales 13 funcionan correctamente (46,43%) y los otros 15 se recomienda su calibración (53,57%).



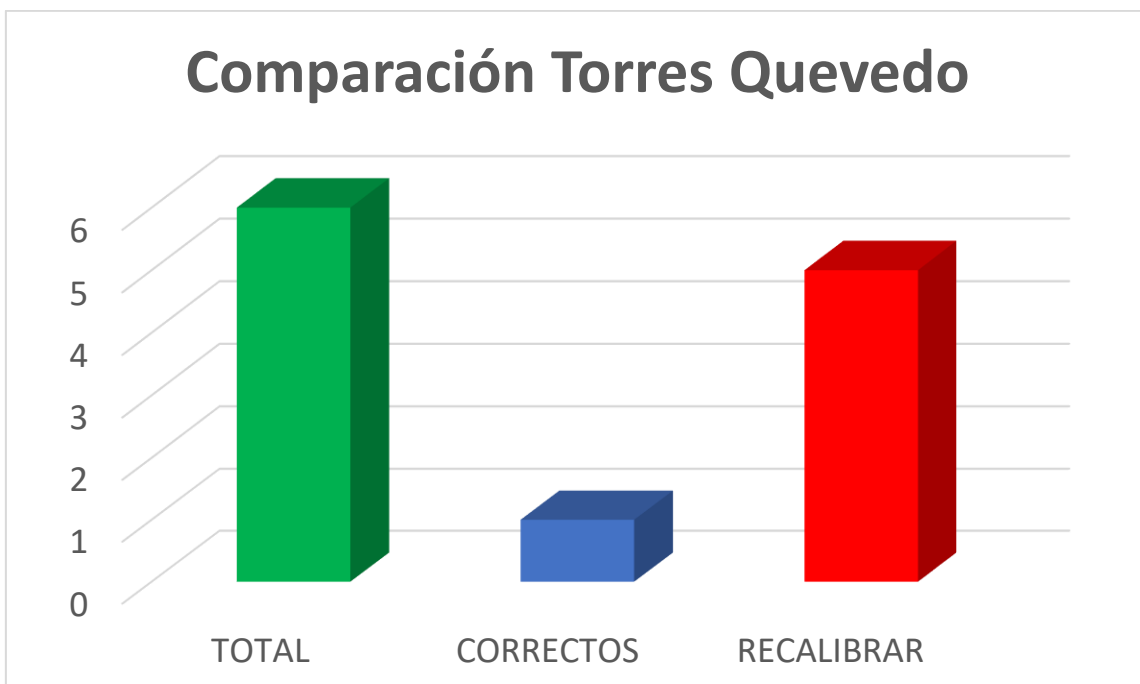
El hecho de que más de la mitad de los equipos de medición necesiten de una calibración ya que los valores que ofrecen no son lo suficientemente exactos, no es un buen resultado. Esto puede deberse a que desde el momento de la instalación de los equipos, no se ha realizado una recalibración.

La importancia de recalibrar estos equipos reside en que su utilidad depende de su correcta medición por lo tanto se recomienda que se realice una comprobación de la medición de estos equipos según la metodología de este estudio con el fin de recalibrar los equipos instalados que no midan correctamente.

A continuación, se realizará el mismo análisis de resultados, pero diferenciando por un lado entre cada uno de los tres edificios del Campus en los cuales están instalados estos equipos de medición y por otro lado entre los dos tipos de equipos de medición.

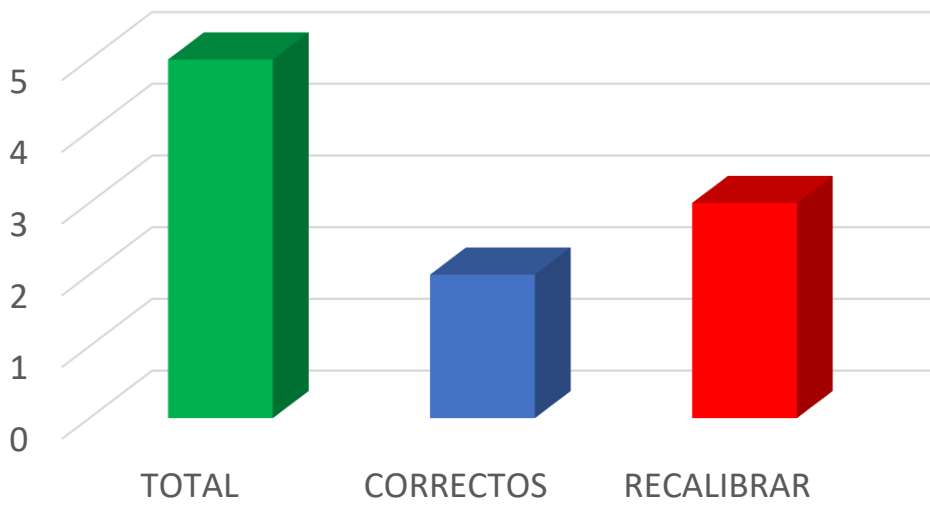


De los 17 equipos instalados en el edificio Betancourt, 10 (58,82%) están funcionando correctamente mientras que 7 (41,18%) necesitan de una recalibración.



De los 6 equipos instalados en el edificio Torres Quevedo, solo 1 (16,67%) funciona correctamente mientras que los 5 (83,33%) restantes necesitan de una recalibración.

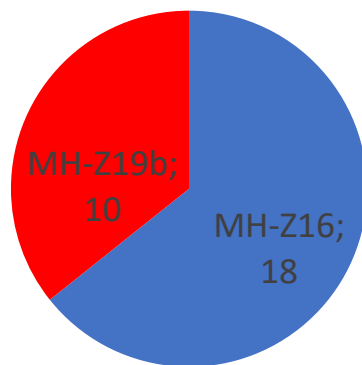
## Comparación Ada Byron



De los 5 equipos instalados en el edificio Ada Byron, solo 2 (40%) están funcionando correctamente mientras que los 3 (60%) restantes necesitan de una recalibración.

A continuación se comparan los dos tipos de sensores instalados:

## Tipos de Sensores

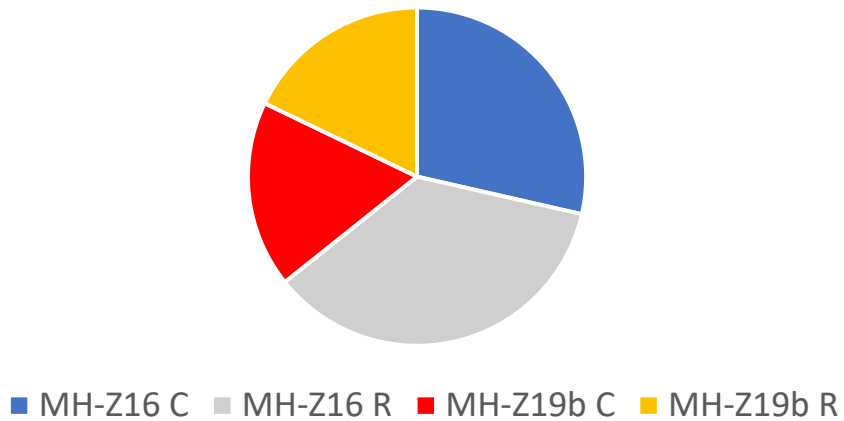


De los 28 sensores, 10 (35,71%) son MH-Z19b y 18 (64,29%) son MH-Z16.

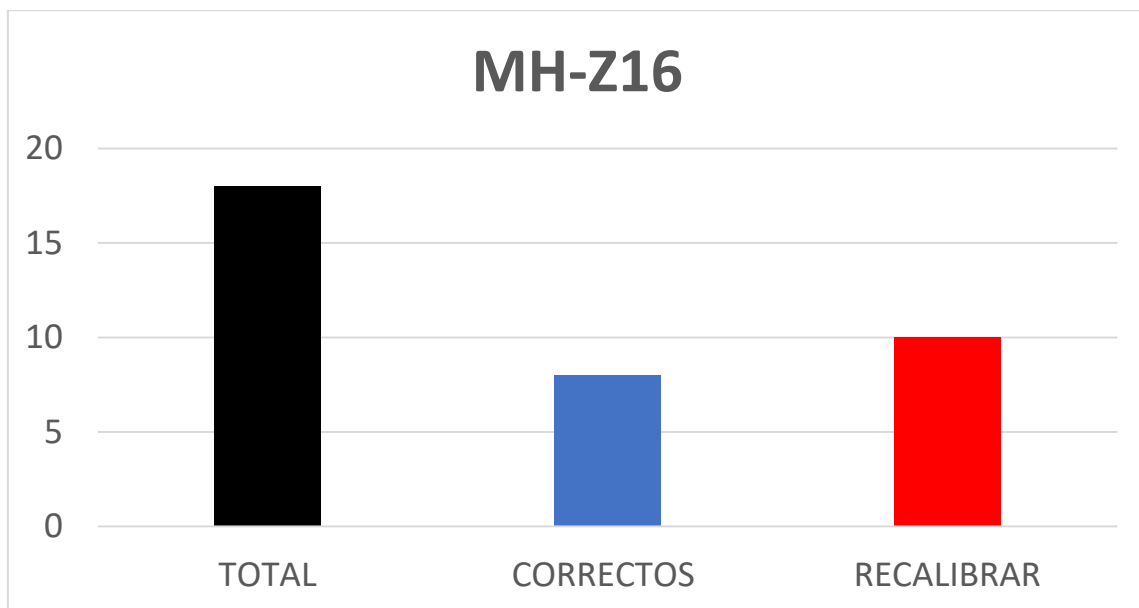
Los sensores MH-Z19b están dispuestos de la siguiente manera: 9 en el edificio Betancourt y 1 en el edificio Torres Quevedo.

Los sensores MH-Z16 están dispuestos de la siguiente manera: 8 en el edificio Betancourt, 5 en el edificio Ada Byron y por último 5 en el edificio Torres Quevedo.

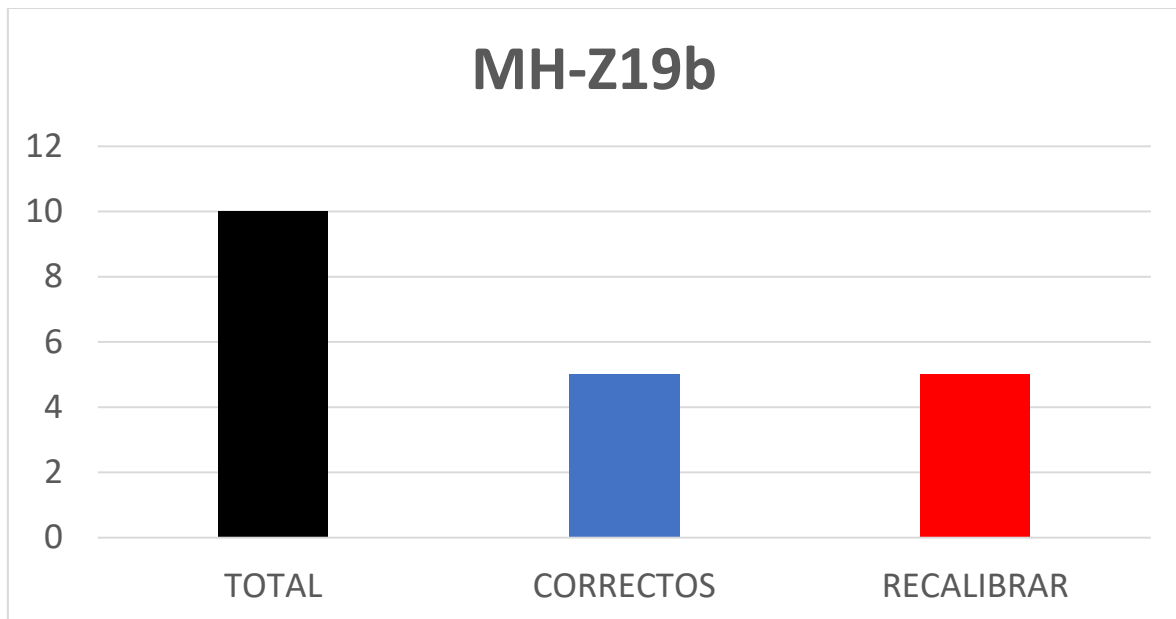
## Estado de los Sensores



En este gráfico se ve la comparativa entre los sensores que funcionan correctamente y los que necesitan recalibración de un tipo y otro pero al no tener el mismo número de sensores de los dos tipos, se obtendrá más información estudiándolos por separado y comparándolos posteriormente.



De los 18 equipos de medición instalados con sensores MH-Z16 funcionan correctamente un 44,45%.



De los 10 equipos de medición instalados con sensores MH-Z19b funcionan correctamente un 50%.

Podemos ver que los porcentajes actualmente son muy bajos en ambos equipos de medición. Ambos sensores ofrecen un comportamiento parecido, es decir, suponiendo que se calibraron e instalaron en fechas parecidas, tardan aproximadamente el mismo tiempo en descalibrarse ya que los porcentajes de equipos de medición que funcionan correctamente tras este periodo de tiempo son parecidos.

A pesar de que los resultados sean negativos en la situación actual, se puede sacar como conclusión positiva que la calibración de ambos tipos de sensores se puede realizar con el mismo periodo de tiempo.

A continuación, se analiza que sensor ofrece mayores diferencias con respecto a los calibrados.

Haciendo el cálculo por sensores de las diferencias obtenemos los siguientes resultados:

-La media de la diferencia entre el valor obtenido con el sensor MH-Z16 y el obtenido con el equipo de medición Aranet4 Pro es de aproximadamente 49,42ppm por debajo del valor del segundo, es decir, a punto de sobrepasar el límite que habíamos prefijado para recomendar la calibración.

-La media de la diferencia entre el valor obtenido con el sensor MH-Z19b y el obtenido con el equipo de medición Aranet4 Pro es de aproximadamente 27,33ppm por debajo del valor del segundo.

Si bien en la comparación realizada porcentualmente reflejaba que a pesar de un mejor valor para el sensor MH-Z19b la diferencia entre ambos sensores no era muy significativa, en este caso si que vemos que el resultado para el MH-Z19b es mucho mejor que el del sensor MH-Z16 que nos ofrece un valor demasiado alto.

Como conclusión final se recomienda la instalación de más dispositivos de medición con sensores MH-Z16 debido a que el porcentaje de equipos de medición que funcionan correctamente es mayor y a que la diferencia de valores entre este sensor y el del sensor calibrado de Aranet4 Pro es menor.

Aunque si por algún casual no se dispusiera de dichos sensores no se descarta el uso de sensores MH-Z19 ya que el porcentaje de equipos de medición que funcionan correctamente es parecido al de los sensores MH-Z16. La diferencia entre los valores de el sensor MH-Z19 y el sensor calibrado es de aproximadamente 50ppm por debajo lo que es un valor realmente alto por lo que se aconseja la comparación de los resultados de este sensor con un sensor calibrado antes de su instalación en un aula.

Por otro lado, se recomienda un seguimiento periódico de entre 1 o 2 meses de los valores obtenidos por los equipos de medición instalados en las aulas acuerdo a la metodología de este estudio. El periodo no debe pasar de los dos meses con el fin de prevenir la situación actual donde más de la mitad de los sensores carecen de utilidad al aportar valores que no son correctos.

## ANEXO XII. Estimación de la demanda térmica debida a climatización.

### Introducción

Actualmente en los edificios del Campus Rio Ebro, la ventilación de cada aula se controla a través de un termostato en el que se fija la temperatura deseada. Actuar de esta forma significa que no se está teniendo en cuenta en ningún momento el número de personas que ocupan el espacio. Como consecuencia de ello, en ocasiones se puede estar sobreventilando con su consiguiente malgasto energético o también puede existir un déficit de ventilación proporcionando una insuficiente calidad de aire interior.

Para resolver estos problemas lo adecuado sería modular dicha ventilación en función de una serie de variables que dependiendo del rango en las que estas se muevan, la ventilación aumente o disminuya según sea necesario. Estas variables son: aforo del espacio, temperatura interior del aula y nivel de CO<sub>2</sub> en el ambiente. Llevando a cabo esta monitorización del espacio se podría conseguir un considerable ahorro energético, garantizando el confort térmico y seguridad de los ocupantes.

Con este estudio se pretende aprender de que depende la demanda energética por ventilación y que orden de magnitud (W/m<sup>2</sup>) se tiene en los espacios del campus. También se obtendrá una estimación del ahorro energético que se tendría si se actuará a partir de los valores medios de cada una de las variables que se miden respecto del estado actual. Además, con este cálculo también se pretende concienciar de que la climatización del aula debe ser principalmente a través de ventilación mecánica y solo cuando no se tengan más opciones recurrir a la ventilación natural.

### Cálculo de la carga de ventilación

Para el cálculo de la carga de ventilación necesaria en cada aula proporcionando unas condiciones de confort, se necesitan conocer variables como el aforo del espacio y las condiciones de temperatura y humedad, tanto exterior como interior.

Para realizar dicho cálculo, se parte de la siguiente expresión:

$$q \left( \frac{kg}{s} \right) \cdot \Delta h \left( \frac{kJ}{kg} \right) = \text{potencia térmica (kW)}$$

*Ecuación 4. Cálculo de la demanda debida a ventilación. Fuente: Libro de Fundamentos de Climatización.*

q – es el caudal másico requerido en cada espacio y se obtiene multiplicando el aforo por el caudal requerido por cada ocupante. Dado que, en este caso, el espacio es un aula de enseñanza, el RITE lo establece en un valor de 12,5 l/s.

$$q = \text{aforo (personas)} \cdot 12,5 \left( \frac{l}{s \cdot persona} \right)$$

*Ecuación 5. Caudal volumétrico de un aula o espacio. Fuente: RITE.*

Se debe tener en cuenta la densidad del aire en las condiciones de presión y temperatura habituales en condiciones de confort ( $\rho=0,001225$  kg/l). A partir de este valor se puede pasar de un caudal volumétrico (l/s) a caudal másico (kg/s).

Para el cálculo de la entalpía, por un lado, se tiene la variación de entalpía relacionado con el calor sensible, y por otro, aquella relacionado con el calor latente. [52]

$$\Delta h_{ah}(T) = \underbrace{\Delta h_{as}(T)}_{\text{Aire seco}} + \omega \cdot \underbrace{\Delta h_v(T)}_{\text{vapor de agua}} \quad [\text{kJ/kg aire seco}]$$

Ecuación 6. Variación de entalpía. Fuente: Libro de Fundamentos de Climatización.

**Entalpía debida a la variación vapor.**

$$\Delta h_v(T) = h_{fg}(T_{ref}) + C_{pv}(T_m) \cdot (T - T_{ref})$$

Ecuación 7. Entalpía debido al calor latente. Fuente: Libro de Fundamentos de Climatización.

Por simplicidad se suele tomar  $T_{ref} = 0^\circ\text{C} \rightarrow h_{fg}(T_{ref}) = 2501 \text{ kJ/kg}$

El calor específico para el vapor de agua (entre  $-10$  y  $50^\circ\text{C}$ ) es aproximadamente igual a  $1,82 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$

Esta variación de entalpía solo se tendrá cuando el sistema de climatización esté funcionando en condiciones de refrigeración.

**Entalpía debida a la variación de aire seco.**

$$\Delta h_{as}(T) = C_{pas}(T_m) \cdot (T - T_{ref})$$

Ecuación 8. Entalpía debida al calor sensible. Fuente: Libro de Fundamentos de Climatización.

El calor específico del aire seco (entre  $-10$  y  $50^\circ\text{C}$ ) es aproximadamente igual a  $1,005 \text{ kJ/kgK}$

Para el cálculo de la humedad absoluta, se parametriza la humedad relativa interior, para distintos valores posibles, y se calcula con la siguiente expresión:

$$w = 0,622 \cdot \theta \cdot \left( \frac{P_{sat}}{P - \theta \cdot P_{sat}} \right)$$

Ecuación 9. Cálculo de la humedad absoluta. Fuente: Libro de Fundamentos de Climatización.

Para realizar este estudio, se elige el aula de TIPO 1, la cual se puede identificar en el análisis de instalaciones de climatización de las aulas de Betancourt (**anexo V**). Esta aula tiene una superficie total de  $150 \text{ m}^2$ .

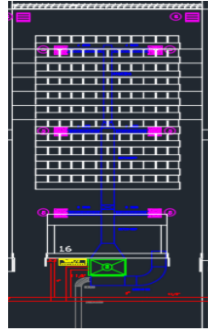


Ilustración 53. Aula tipo 1. Fuente: Anexo 3

Con este análisis se pretende estimar la carga de climatización demanda en un aula a partir de unas condiciones exteriores o interiores fijadas. A partir del valor obtenido se comparará con la instalación actual en el edificio Agustín Betancourt, evidenciando la necesidad de utilizar la ventilación mecánica y los recuperadores de calor para poder llegar a suministrar la carga de climatización demandada.

En el edificio Betancourt hay una potencia frigorífica instalada en climatización de 1650 kW [49], teniendo en cuenta que en este edificio la superficie climatizada total es de 25.818 m<sup>2</sup> [50], se tiene una potencia frigorífica debida a climatización por metro cuadrado de 64 W/m<sup>2</sup>. Este es un valor medio para todo el edificio, sin embargo, en las aulas se tiene una potencia superior a la que hay instalada en los pasillos, por tanto, este ratio en el aula será superior. Además, en los laboratorios se climatiza de una forma más singular al resto de espacios por lo que también se encontrará en esos espacios un orden de magnitud distinto al valor medio.

Sin embargo, dicha estimación de la demanda, dado que se trata de un edificio dedicado para la enseñanza y de gran tamaño, puede encontrarse en un rango bajo, ya que lo normal es que este valor este situado en un rango de aproximadamente 60-100 W/m<sup>2</sup>. Esto puede ser consecuencia de que no todos espacios tienen la misma potencia y del factor simultaneidad, ya que los estudiantes no pueden ocupar dos espacios distintos al mismo tiempo.

El estudio del aula se ha dividido para tres aforos distintos, es decir, se fijará un aforo-covid, un aforo-normal y el aforo-máximo permitido. Para cada uno de ellos se cambiarán las condiciones de temperatura y humedad. De esta forma se podrá visualizar cómo evoluciona la carga de ventilación en función de aforo, temperatura y humedad. También se ha diferenciado entre el funcionamiento del sistema de climatización en modo calefacción (invierno) o modo refrigeración (verano).

A continuación, se muestra un resumen de los cálculos realizados con sus respectivos resultados:

## AFORO-COVID

### Condiciones de verano

Durante este apartado la temperatura interior se fija en 26°C.

W/m <sup>2</sup>		TEMPERATURA EXTERIOR (°C)		
		28	33	38
HUMEDAD INTERIOR	30%	20	62	112
	35%	10	52	102
	40%		43	92
	45%		33	82

Tabla 71. Resultados para las condiciones de verano con aforo-covid. Elaboración propia.

En la tabla anterior se puede observar cómo varía la estimación de demanda térmica por ventilación (W/m<sup>2</sup>) en función de las variables de temperatura exterior y humedad relativa interior. Con el aforo-covid (36 personas) y en unas condiciones de verano, se observa que la carga de ventilación varía en un rango muy amplio, entre 10 y 112 W/m<sup>2</sup>. Por cada grado que aumenta la temperatura exterior, en dichas condiciones, la carga de ventilación aumenta en torno a 8-10 unidades de W/m<sup>2</sup>.

Si uno se fija únicamente en el cambio que experimenta la carga de ventilación en función de la variación de humedad relativa interior, observa que conforme esta aumenta en un 5 %, la carga de ventilación disminuye 10 W/m<sup>2</sup>.

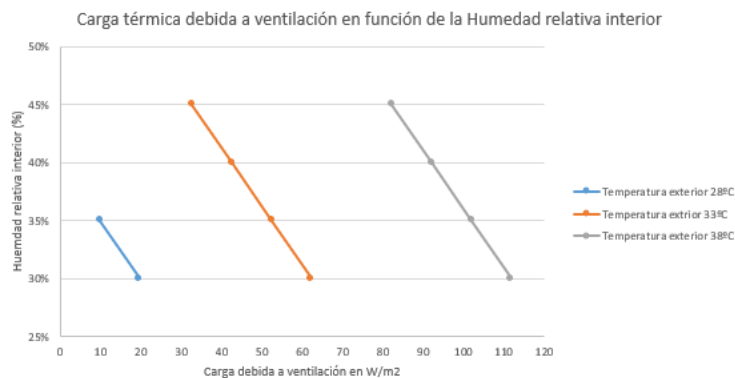


Tabla 72. Carga térmica en función de la humedad relativa interior. Elaboración propia.

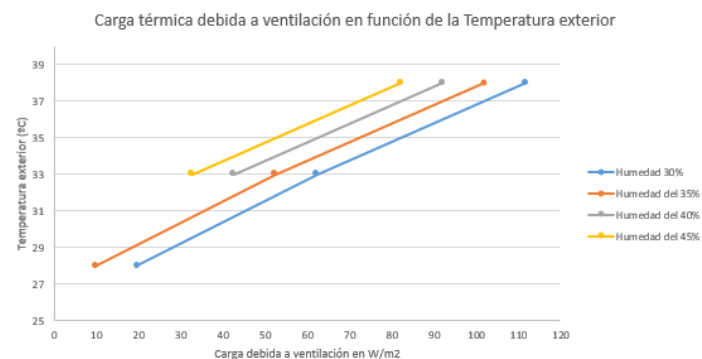


Tabla 73. Carga térmica en función de la temperatura exterior. Elaboración propia.

### Condiciones de invierno.

Para las condiciones de invierno, la temperatura interior se fija en 21°C.

Carga térmica (W/m <sup>2</sup> )	TEMPERATURA EXTERIOR (°C)		
	1	8	12
	74	48	33

Tabla 74. Resultados para las condiciones de invierno con aforo-covid. Elaboración propia.

En la tabla resumen de las condiciones de invierno, se puede observar que la carga de ventilación únicamente depende de la temperatura en el exterior del aula. Conforme aumenta la temperatura exterior un grado, dicha carga disminuye 4 W/m<sup>2</sup>.

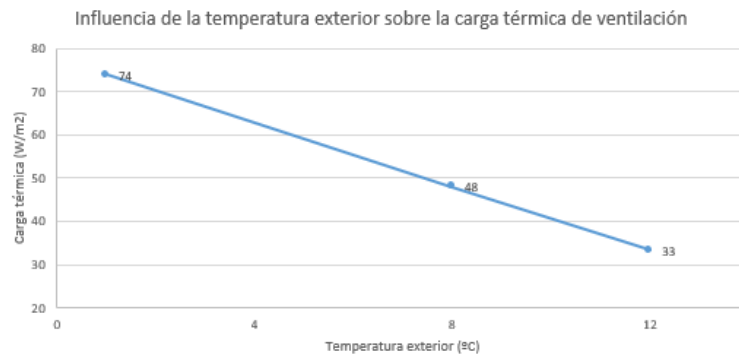


Tabla 75. Carga térmica en función de la temperatura exterior en condiciones de invierno. Elaboración propia.

### AFORO-NORMAL

#### Condiciones de verano.

En condiciones de verano la temperatura interior se fija en 26°C.

W/m <sup>2</sup>		TEMPERATURA EXTERIOR (°C)		
		28	33	38
HUMEDAD INTERIOR	30%	30	95	171
	35%	15	80	156
	40%		65	141
	45%		50	126

Tabla 76. Resultados para las condiciones de verano con aforo-normal. Elaboración propia.

Suponiendo que no estuviera presente el virus SARS-CoV-2, se ha aumentado el aforo a una situación cotidiana (55 personas). En estas condiciones se puede apreciar a simple vista que la carga de ventilación es considerablemente mayor. El rango de estos valores ha aumentado respecto al aforo anterior, estableciéndose entre 15 y 171 W/m<sup>2</sup>. El límite superior se escapa de los márgenes adecuados, no obstante, para alcanzar dicho valor tienen que darse unas condiciones de temperatura y humedad relativamente extremas.

En estas condiciones la carga de ventilación aumenta entre 13 y 15 W/m<sup>2</sup> por cada grado que se incrementa la temperatura exterior. Obviamente cuanto mayor número de personas haya en el aula, mayor es la variación.

En este cálculo no se está considerando una posible recuperación de calor que tendría lugar en la UTA, es decir, se es consciente de que la demanda de ventilación es importante, pero se tienen soluciones al alcance para aminorarla como es el uso de los recuperadores de calor. Es importante destacar, que para que dicha recuperación de calor sea efectiva, y por tanto el ahorro energético que ello conlleva, la ventilación mecánica es totalmente imprescindible.

En el caso de la humedad se aprecia que por cada aumento del 5% que experimenta esta, la carga de ventilación disminuye 15 W/m<sup>2</sup>. Respecto al aforo anterior, la variación que se experimenta en estas condiciones también es mayor.

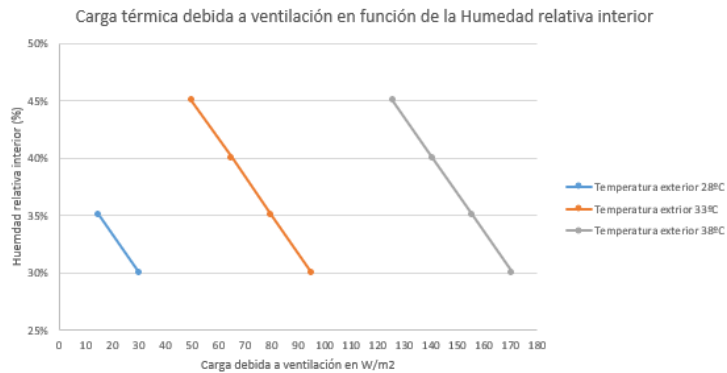


Tabla 77. Carga térmica en función de la humedad relativa interior. Elaboración propia.

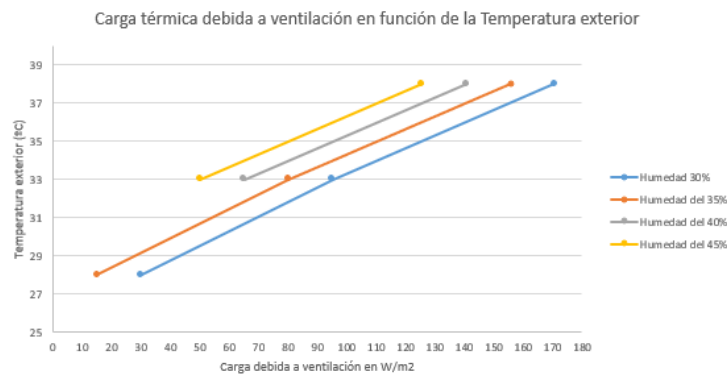


Tabla 78. Carga térmica en función de la temperatura exterior. Elaboración propia.

### Condiciones de invierno.

Para las condiciones de invierno, la temperatura interior se fija en 21°C.

Carga térmica (W/m²)	TEMPERATURA EXTERIOR (°C)		
	1	8	12
	113	73	51

Tabla 79. Resultados para las condiciones de invierno con aforo-normal. Elaboración propia.

En la tabla-resumen de las condiciones de invierno, se puede observar que la carga de ventilación únicamente depende de la temperatura en el exterior del aula. Conforme aumenta

la temperatura exterior un grado, dicha carga disminuye en torno a 5 W/m<sup>2</sup>. Se mantiene en unos valores muy cercanos que para un aforo menor.

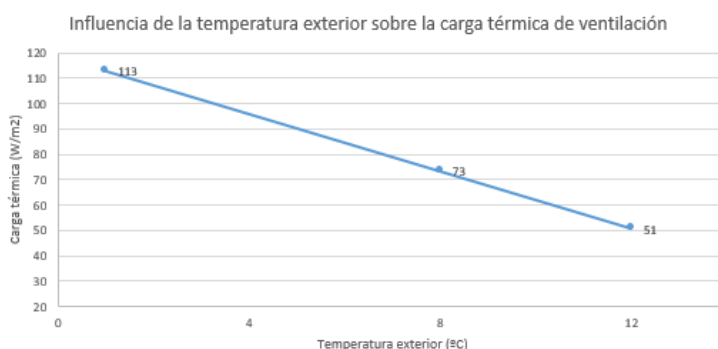


Tabla 80. Carga térmica en función de la temperatura exterior en condiciones de invierno. Elaboración propia.

## **AFORO-MÁXIMO**

### **Condiciones de verano.**

En condiciones de verano la temperatura interior se fija en 26°C.

W/m2		TEMPERATURA EXTERIOR (°C)		
		28	33	38
HUMEDAD INTERIOR	30%	72	228	410
	35%	36	192	374
	40%		156	338
	45%		120	302

Tabla 81. Resultados para las condiciones de verano con aforo-máximo. Elaboración propia.

En este caso se amplía el aforo hasta su capacidad máxima, 132 personas. Como ha sucedido en el caso anterior, obviamente la carga de ventilación aumenta en todas las condiciones de temperatura y humedad, respecto a los casos anteriores que tenían un aforo menor. Se puede apreciar que el rango entre el que varía la carga se ha elevado considerablemente, fijándose en unos valores ente 36 y 410 W/m<sup>2</sup>. El límite superior se escapa totalmente de los valores razonables que pueden darse para dicha carga, no obstante, para alcanzar dicho valor tienen que darse unas condiciones de aforo, temperatura y humedad muy poco comunes. En muy pocas ocasiones un aula tiene una ocupación de personas tan elevada.

Para cada grado que aumenta la temperatura en el exterior del aula la carga térmica debida a ventilación lo hace en torno a 34 W/m<sup>2</sup>, un aumento considerablemente mayor a los dos casos anteriores. Para entender este incremento tan pronunciado se debe tener en cuenta que el aforo es considerablemente mayor a las dos situaciones anteriores.

En cuanto a la variación que experimenta la carga de ventilación con el cambio de humedad relativa interior, se puede apreciar que por cada aumento del 5% de dicha humedad, la carga disminuye 36 unidades de W/m<sup>2</sup>. Si este valor se compara con la situación de aforo-normal, también se aprecia un fuerte incremento, que de la misma forma se debe a lo comentado anteriormente.

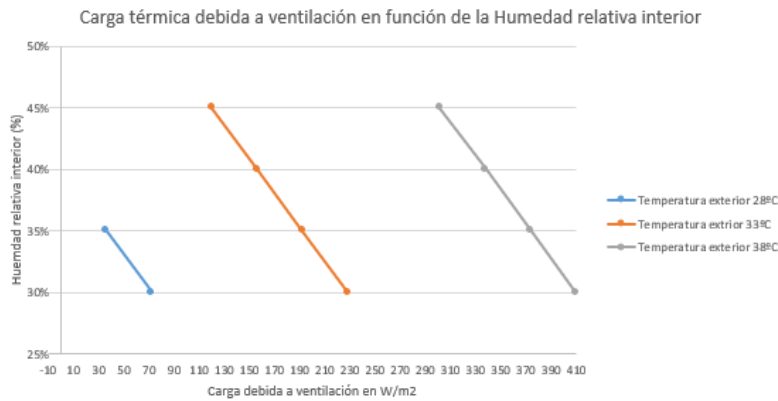


Tabla 82. Carga térmica en función de la humedad relativa interior. Elaboración propia.

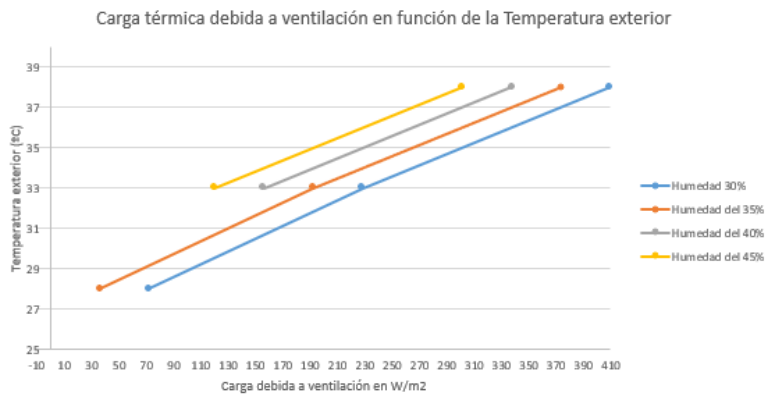


Tabla 83. Carga térmica en función de la temperatura exterior. Elaboración propia.

### Condiciones de invierno.

Para las condiciones de invierno, la temperatura interior se fija en 21°C.

Carga térmica (W/m²)	TEMPERATURA EXTERIOR (°C)		
	1	8	12
	271	176	122

Tabla 84. Resultados para las condiciones de invierno con aforo-máximo. Elaboración propia.

En la tabla-resumen de las condiciones de invierno, se puede observar que la carga de ventilación únicamente depende de la temperatura en el exterior del aula. Conforme aumenta la temperatura exterior un grado, dicha carga disminuye en torno a 14 W/m<sup>2</sup>. Se mantiene una fuerte variación respecto de las situaciones anteriores debido al aumento considerable de personas que ocupan el aula.

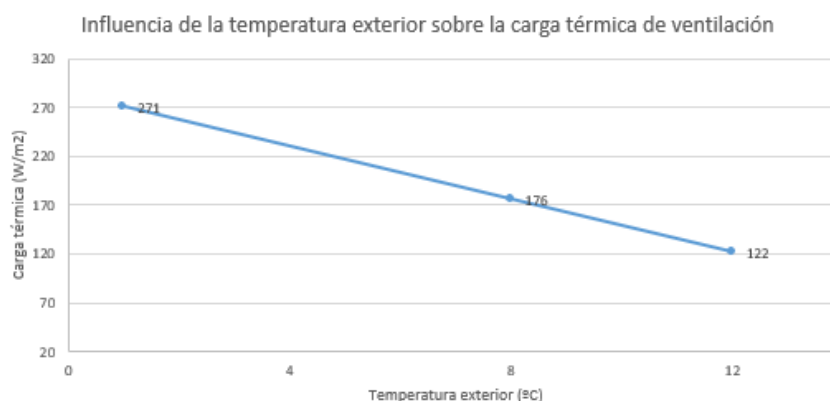


Tabla 85. Carga térmica en función de la temperatura exterior en condiciones de invierno. Elaboración propia.

### Análisis de los resultados

La carga térmica de ventilación para las condiciones de verano se mueve entre unos rangos muy amplios, en los que a medida que aumenta el aforo también aumentas estos. Se puede apreciar que el valor de  $64 \text{ W/m}^2$  que se ha calculado para el edificio Betancourt es insuficiente si se tiene en cuenta la carga térmica de ventilación que se ha calculado. Sería necesario aminorar notablemente la demanda de ventilación mediante recuperadores de calor.

AFORO	COVID	NORMAL	MÁXIMO
Límite inferior y superior del rango de carga de ventilación	10-112 $\text{W/m}^2$	15-171 $\text{W/m}^2$	36-410 $\text{W/m}^2$

Tabla 86. Rangos en los que se mueve la carga de ventilación en condiciones de verano. Elaboración propia.

En el caso de la variación que se experimenta con el cambio de la temperatura exterior en condiciones de verano, se pueda apreciar que cuando se está en condiciones de aforo normal, el incremento de la carga de ventilación por cada grado de temperatura que aumenta respecto de un aforo con COVID es más de la mitad. Si se está situado en las condiciones de aforo máximo, esta carga de ventilación se duplica respecto de las condiciones de aforo normal y se triplica respecto el aforo-covid.

AFORO	COVID	NORMAL	MÁXIMO
Carga de ventilación por cada grado que aumenta la $T^{\circ}$ ext en verano	8-10 $\text{W/m}^2$	13-15 $\text{W/m}^2$	34 $\text{W/m}^2$

Tabla 87. Variación que sufre la carga de ventilación por cada grado que se incrementa la  $T^{\circ}$  exterior en condiciones de verano. Elaboración propia.

Si se compara la variación de la humedad interior respecto el aforo que existe en las aulas, se encuentra una situación similar a la variación con la temperatura exterior. La carga de ventilación teniendo en cuenta solo la humedad relativa interior crece aproximadamente la mitad para condiciones de aforo normal respecto a encontrarse en un aforo-covid. Además, si se aumenta el aforo a una ocupación máxima, la carga de ventilación aumenta más del doble respecto a un aforo normal y se triplica para un aforo en presencia del SARS-CoV-2.

<b>AFORO</b>	<b>COVID</b>	<b>NORMAL</b>	<b>MÁXIMO</b>
<b>Carga de ventilación por cada 5% que aumenta la Hrel%</b>	10 W/m <sup>2</sup>	15 W/m <sup>2</sup>	36 W/m <sup>2</sup>

*Tabla 88. Variación de la carga de ventilación con la humedad relativa interior en condiciones de verano. Elaboración propia.*

La estimación de demanda térmica por ventilación para las condiciones de invierno, se mantiene más estable. No hay apenas variación de esta entre un aforo en condiciones normales y un aforo-covid, se mantiene entre 4 y 5 W/m<sup>2</sup>. Sin embargo, para un aforo en condiciones de máxima ocupación la carga de ventilación se incrementa hasta 14 W/m<sup>2</sup> por cada grado de temperatura que aumenta, casi el triple de las condiciones anteriores. Se debe tener en cuenta que el aforo aumenta considerablemente en las condiciones de ocupación máxima.

<b>AFORO</b>	<b>COVID</b>	<b>NORMAL</b>	<b>MÁXIMO</b>
<b>Carga de ventilación por cada grado que aumenta la T° ext en invierno</b>	4 W/m <sup>2</sup>	5 W/m <sup>2</sup>	14 W/m <sup>2</sup>

*Tabla 89. Variación que sufre la carga de ventilación con la temperatura en condiciones de invierno. Elaboración propia.*

El intervalo en el que se mueve la demanda térmica debida a ventilación en las condiciones de invierno es más pequeño y razonable respecto de las condiciones de verano. Es cierto que para un aforo máximo se escapa de los límites razonables, pero esta situación es muy poco habitual.

<b>AFORO</b>	<b>COVID</b>	<b>NORMAL</b>	<b>MÁXIMO</b>
<b>Límite inferior y superior del rango de carga de ventilación</b>	33-74 W/m <sup>2</sup>	51-113 W/m <sup>2</sup>	122-271 W/m <sup>2</sup>

*Tabla 90. Rangos en los que se mueve la carga de ventilación en condiciones de invierno. Elaboración propia.*

En esta aula se tiene colocado un fan coil con una potencia calorífica de 43 kW [53], esto significa que puede demandar una carga en el modo de calefacción del orden de 287 W/m<sup>2</sup>. Se puede observar según la estimación que se ha realizado anteriormente y sin tener en cuenta el resto de cargas, como pueden ser la transmisión por cerramientos, que la carga de ventilación en condiciones de invierno tiene la suficiente potencia instalada en el aula para ventilar adecuadamente el espacio y garantizar la calidad de aire adecuada. No obstante, se tienen ciertos recursos como son los recuperadores de calor, que permitirán aminorar dicha demanda, aumentando la eficiencia de la instalación y obteniendo un ahorro económico.

Se ha cuantificado lo importante que es la demanda por ventilación. Por tanto, esto implica intentar no ventilar por ventana, priorizando la ventilación mecánica a través del sistema de HVAC e incorporar los recuperadores de calor.

Por otro lado, también puede llevarse a cabo una monitorización de la ventilación en función del CO<sub>2</sub> y temperatura. Para poder llevar a cabo dicha instalación se requiere un sistema de ventilación mecánica, el cual pueda proporcionar un aporte de aire exterior continuo y en función del CO<sub>2</sub> que se tenga en el espacio interior [9]. De esta forma solamente se consumiría lo necesario. No se puede dejar pasar, que utilizando un sistema de climatización monitorizada

en función del CO<sub>2</sub> y los recuperadores de calor se ahorra una enorme cantidad de energía, especialmente en edificios con ocupación muy alta y variable, como es el edificio Agustín Betancourt. [51]

Además de la monitorización en función del CO<sub>2</sub> y temperatura, se deben incluir los recuperadores de calor, aumentando la eficiencia energética de la instalación ya que estos equipos permiten aprovechar la energía que tiene el aire de extracción y transferirla al aire nuevo que se toma del exterior, reduciendo de manera considerable el consumo energético necesario para obtener las condiciones interiores de confort deseadas. [18]

Se pueden encontrar diferentes equipos de recuperación de calor, los más utilizados en los edificios no residenciales son los recuperadores de placas y rotativos, los cuales se han explicado anteriormente en **anexo IV**, equipos del sistema de climatización.

Con los recuperadores de placas se pueden obtener una eficiencia en la transferencia de energía entorno al 65% mientras que con los rotativos esta aumenta ligeramente alcanzando valores cercanos al 75% [17]. Teniendo en cuenta la energía que se ahorraría colocando estos sistemas y climatizando los espacios en función del CO<sub>2</sub>, la carga de ventilación demandada que se ha calculado en este estudio disminuiría considerablemente.

#### *Cuantificación del ahorro energético a través de los recuperadores de calor*

Para calcular esta disminución de la demanda térmica debida a ventilación se debe tener en cuenta la eficiencia del equipo recuperador de calor. Dependiendo de dicha eficiencia el equipo será capaz de introducir el aire exterior más cerca de las condiciones de confort interiores y en consecuencia se producirá el ahorro energético mencionado.

Por ejemplo, en las condiciones de verano, el aire exterior limpio entra a una temperatura superior que a las condiciones que se tienen en el interior del espacio. Con el recuperador de calor dicha temperatura de entrada disminuirá y se deberá recalcular la demanda térmica debida a ventilación. Para saber cuánto disminuye (verano) o aumenta (invierno) la temperatura del flujo de aire exterior en estos equipos hacemos uso de las siguientes ecuaciones:

$$\eta = \frac{\text{Energía real intercambiada}}{\text{Energía máxima que se podría recuperar}}$$
$$\eta = \frac{T_{12} - T_{11}}{T_{21} - T_{11}} \rightarrow T_{12} = T_{11} + \eta \cdot (T_{21} - T_{11})$$

*Ecuación 10. Eficiencia de un recuperador de calor. Fuente: DTIE 8.01 Recuperación de energía en sistemas de climatización.*

Donde:

- T<sub>12</sub> es la temperatura del flujo de aire que entra una vez que se ha producido la recuperación de calor.
- T<sub>11</sub> es la temperatura del flujo de aire que entra por primera vez al recuperador.
- T<sub>21</sub> es la temperatura del flujo que sale hacia el ambiente exterior.
- T<sub>22</sub> es la temperatura del flujo de salida tras la recuperación de calor.
- η es la eficiencia del equipo

## RECUPERADOR DE PLACAS

Para estimar el ahorro energético que puede tener la instalación de un recuperador de calor se elige un equipo con intercambiador de placas. Se ha elegido un recuperador de placas y no uno rotativo, porque actualmente en la UTA de aire primario de las aulas del edificio Betancourt se tiene este tipo de recuperador instalado. Durante este cálculo se asume que el recuperador se encuentra en estado estacionario, que las paredes del equipo son adiabáticas y que los caudales en entrada y salida son iguales. Se utiliza la hipótesis simplificadora de que se trata de un flujo a contracorriente.

Se debe tener en cuenta que se trata de una estimación y solo se está calculando la recuperación de calor sensible intercambiado entre el de extracción e impulsión. Si se tuviera recuperación de calor latente el calor intercambiado aumentaría y por tanto el ahorro energético sería mayor.

*Condiciones de verano*

### Situación 1

$T_{int} = 26^{\circ}\text{C}$  En el caso de la temperatura interior del aula, se suele sumar uno o dos grados a dicha temperatura, ya que los retornos suelen estar en el techo y así se tiene en cuenta el efecto de la estratificación. Se aplicará para todas las situaciones.

$$T_{in} \rightarrow T_{21} = 27^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ext} = T_{11} = 33^{\circ}\text{C}$$

Recuperador de placas  $\rightarrow \eta = 0,65$

Temperatura del aire limpio de entrada tras producirse el intercambio térmico en el recuperador:

$$T_{12} = 33^{\circ}\text{C} + 0,65 \cdot (27^{\circ}\text{C} - 33^{\circ}\text{C}) = 29,1^{\circ}\text{C} \approx 29^{\circ}\text{C}$$

### Situación 2

$$T_{int} = T_{21} = 26^{\circ}\text{C} + 1^{\circ}\text{C} = 27^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ext} = T_{11} = 28^{\circ}\text{C}$$

Recuperador de placas  $\rightarrow \eta = 0,65$

Temperatura del aire limpio de entrada tras producirse el intercambio térmico en el recuperador:

$$T_{12} = 28^{\circ}\text{C} + 0,65 \cdot (27^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}) = 27,35^{\circ}\text{C} \approx 27^{\circ}\text{C}$$

### Situación 3

$$T_{int} = T_{21} = 26^{\circ}\text{C} + 1^{\circ}\text{C} = 27^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ext} = T_{11} = 38^{\circ}\text{C}$$

Recuperador de placas  $\rightarrow \eta = 0,65$

Temperatura del aire limpio de entrada tras producirse el intercambio térmico en el recuperador:

$$T_{12} = 38^{\circ}\text{C} + 0,65 \cdot (27^{\circ}\text{C} - 38^{\circ}\text{C}) = 31^{\circ}\text{C}$$

Una vez que se ha calculado, a partir de la eficiencia del equipo, la nueva temperatura que tendrá el flujo de aire de entrada después de haber atravesado el recuperador, se puede recalcular la nueva demanda térmica debida a ventilación, de la misma manera que se ha explicado al principio de este documento.

AFORO	COVID	NORMAL	MÁXIMO
Límite inferior y superior del rango de carga de ventilación con recuperador de calor	2-45 W/m <sup>2</sup>	3-68 W/m <sup>2</sup>	8-163 W/m <sup>2</sup>

Tabla 91. Rango de la carga de ventilación con recuperador de calor en condiciones de verano. Elaboración propia.

Se puede observar que la carga térmica por ventilación en condiciones de verano experimenta una disminución considerable respecto a la instalación sin recuperadores de calor. Estos valores de carga son entorno a un **60% menor** que a los calculados anteriormente, es decir, con la instalación de los recuperadores de calor se disminuye la demanda térmica debida a ventilación en un 60%. Esto supone un ahorro energético enorme y reafirma la necesidad de instalar recuperadores de calor en el sistema HVAC para tender hacia una mayor eficiencia.

*Condiciones de invierno*

#### Situación 1

$$T_{\text{int}} = T_{21} = 21^{\circ}\text{C} + 1^{\circ}\text{C} = 22^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{ext}} = T_{11} = 8^{\circ}\text{C}$$

Recuperador de placas  $\rightarrow \eta=0,65$

Temperatura del aire limpio de entrada tras producirse el intercambio térmico en el recuperador:

$$T_{12} = 8^{\circ}\text{C} + 0,65 \cdot (22^{\circ}\text{C} - 8^{\circ}\text{C}) = 17^{\circ}\text{C}$$

#### Situación 2

$$T_{\text{int}} = T_{21} = 21^{\circ}\text{C} + 1^{\circ}\text{C} = 22^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{ext}} = T_{11} = 1^{\circ}\text{C}$$

Recuperador de placas  $\rightarrow \eta=0,65$

Temperatura del aire limpio de entrada tras producirse el intercambio térmico en el recuperador:

$$T_{12} = 1^{\circ}\text{C} + 0,65 \cdot (22^{\circ}\text{C} - 1^{\circ}\text{C}) = 14,65^{\circ}\text{C} \approx 15^{\circ}\text{C}$$

### Situación 3

$$T_{\text{int}} = T_{21} = 21^{\circ}\text{C} + 1^{\circ}\text{C} = 22^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{ext}} = T_{11} = 12^{\circ}\text{C}$$

Recuperador rotativo  $\rightarrow \eta=0,65$

Temperatura del aire limpio de entrada tras producirse el intercambio térmico en el recuperador:

$$T_{12} = 12^{\circ}\text{C} + 0,65 \cdot (22^{\circ}\text{C} - 12^{\circ}\text{C}) = 18^{\circ}\text{C}$$

Con estas nuevas temperaturas del flujo de aire de entrada, se recalcula la nueva carga térmica debida a la ventilación.

AFORO	COVID	NORMAL	MÁXIMO
Límite inferior y superior del rango de carga de ventilación con recuperador de calor	11-22 W/m <sup>2</sup>	17-34 W/m <sup>2</sup>	41-81 W/m <sup>2</sup>

Tabla 92. Rangos de la carga de ventilación con recuperador de calor en condiciones de invierno. Elaboración propia.

En estas condiciones también se aprecia una disminución considerable en la demanda térmica debida a ventilación, en torno al **70 %** respecto a una instalación que carece de recuperadores de calor.

### Conclusiones

En el aula 0.01 se tiene un fan coil con una potencia frigorífica de 34,8 kW y una potencia calorífica de 43 kW, esto nos proporciona unos órdenes de magnitud para las condiciones de verano de 232 W/m<sup>2</sup> y para invierno de 287 W/m<sup>2</sup>. Estos valores podrían ser suficientes para proporcionar la carga de ventilación demandada por el espacio en caso de que no hubiera recuperadores de calor instalados. Sin embargo, como se acaba de calcular, la carga de ventilación demanda disminuye considerablemente gracias al intercambio térmico que se produce en el recuperador de calor y como consecuencia, la potencia instalada puede ser suficiente en la mayoría de las situaciones. En este estudio se ha demostrado que la instalación de estos equipos permite recuperar entre el 60-70 % de la energía térmica que porta el aire de extracción, con el consiguiente ahorro energético y económico que provoca dicha recuperación. En consecuencia, el uso de recuperadores de calor es esencial para la disminuir la demanda de la carga térmica debida a ventilación.

**TABLA RESUMEN**

CONDICIONES DE VERANO			
AFORO	COVID	NORMAL	MÁXIMO
Rango de carga de ventilación <b>SIN</b> recuperadores de calor	10-112 W/m <sup>2</sup>	15-171 W/m <sup>2</sup>	36-410 W/m <sup>2</sup>
Rango de carga de ventilación <b>CON</b> recuperadores de calor	2-45 W/m <sup>2</sup>	3-68 W/m <sup>2</sup>	8-163 W/m <sup>2</sup>

Tabla 93. Tabla resumen de la carga térmica de ventilación en verano. Elaboración propia.

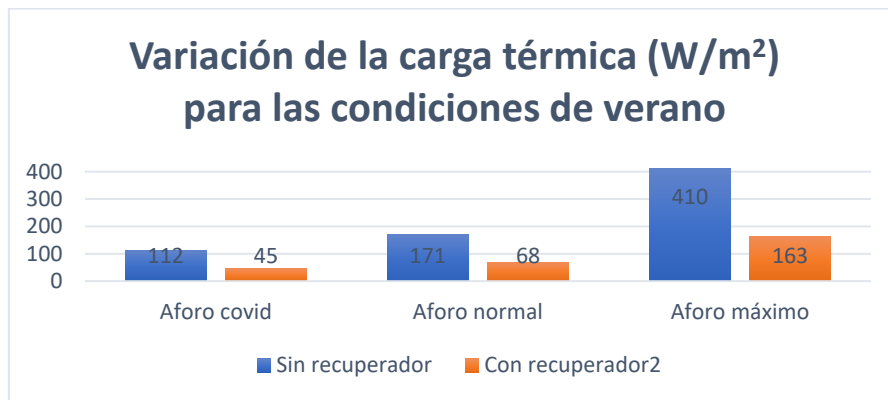


Tabla 94. Variación de la carga térmica (W/m<sup>2</sup>) en condiciones de verano. Elaboración propia.

CONDICIONES DE INVIERNO			
AFORO	COVID	NORMAL	MÁXIMO
Rango de carga de ventilación <b>SIN</b> recuperadores de calor	33-74 W/m <sup>2</sup>	51-113 W/m <sup>2</sup>	122-271 W/m <sup>2</sup>
Rango de carga de ventilación <b>CON</b> recuperadores de calor	11-22 W/m <sup>2</sup>	17-34 W/m <sup>2</sup>	14-81 W/m <sup>2</sup>

Tabla 95. Tabla resumen de la carga térmica de ventilación en invierno. Elaboración propia.

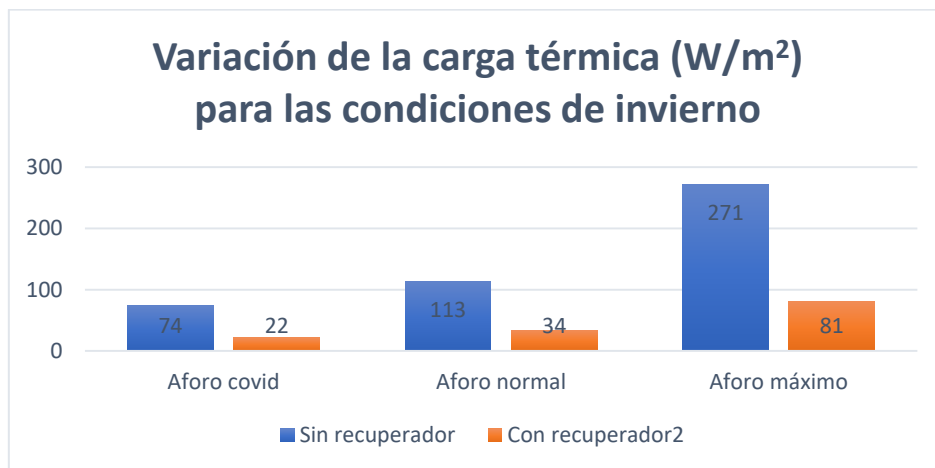


Tabla 96. Variación de la carga térmica (W/m<sup>2</sup>) en condiciones de invierno. Elaboración propia.

ANEXO XIII. Hoja Excel donde se registran todos los equipos de medida de CO<sub>2</sub> instalados en el campus de la EINA.

### Edificio Ada Byron

Edificio	Planta	ESPACIO (ID en ThingsBoard)	ID SENSOR Humedad, Tª y Luminosidad	ID SENSOR CO2	LINK SIGUE-UZ
Ada Byron	Planta 0	Ada Cafetería		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.600">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.600</a>
Ada Byron	Planta 0	Ada Lab 05.b	lht65-827254	sensecap-000020	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.255">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.255</a>
Ada Byron	Planta 0	Ada Aula A.6	lht65-8272a5	sensecap-000073	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.090">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.090</a>
Ada Byron	Planta 0	Ada Lab0.01		diis-co2-001	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.180">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.180</a>
Ada Byron	Planta 0	Ada Lab0.02		diis-co2-002	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.190">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.190</a>
Ada Byron	Planta 0	Ada Lab0.04		diis-co2-004	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.240">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.240</a>
Ada Byron	Planta 0	Ada Lab0.05a		diis-co2-005	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.250">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.250</a>
Ada Byron	Planta 0	Ada Lab0.05b		diis-co2-007	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.255">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.255</a>
Ada Byron	Planta 0	Ada Lab0.06		diis-co2-006	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.280">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.280</a>
Ada Byron	Planta 0	Ada Aula A.1		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.040">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.040</a>
Ada Byron	Planta 1	Ada Salón Actos	lht65-827299	sensecap-000279	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.01.590">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.01.590</a>
Ada Byron	Planta 1	Ada Pasillo P1	lht65-827284	sensecap-0000c0	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.01.020">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.01.020</a>
Ada Byron	Planta 1	Ada Lab0.1.02		diis-co2-008	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.01.210">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.01.210</a>
Ada Byron	Planta 2	Ada Aula A.21		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.02.030">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.02.030</a>
Ada Byron	Planta 2	Ada Aula A.23		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.02.050">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.02.050</a>
Ada Byron	Planta 2	Ada Aula A.24		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.02.070">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.02.070</a>
Ada Byron	Planta 2	Ada Aula A.25		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.02.080">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.02.080</a>
Ada Byron	Planta 2	Ada Sala Estudios	lht65-82727f	sensecap-0001d5	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.02.540">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.02.540</a>
Ada Byron	Planta 2	Ada Aula A.22	lht65-827290	sensecap-000013	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.02.040">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.02.040</a>
Ada Byron	Planta 3	Ada Lab0.03		diis-co2-003	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.230">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.00.230</a>
Ada Byron	Planta 4	Ada Lab 4.02	lht65-8272c3	sensecap-0001f0	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.04.400">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.04.400</a>
Ada Byron	Planta 4	Ada Lab 4.03		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.04.030">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1200.04.030</a>

### Edificio Betancourt

Edificio	Planta	ESPACIO (ID en ThingsBoard)	ID SENSOR Humedad, Tª y Luminosidad	ID SENSOR CO2	LINK SIGUE-UZ
Torres Quevedo	Planta 0	TQ Secretaría EINA		pax-co2-008	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.00.490">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.00.490</a>
Torres Quevedo	Planta 0	TQ Sala Estudios	lht65-8272a3	sensecap-000003	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.00.080">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.00.080</a>
Torres Quevedo	Planta 0	TQ Sala 1 Ordenadores		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.00.130">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.00.130</a>
Torres Quevedo	Planta 1	TQ Aula 17		sensecap-00000d	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.01.320">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.01.320</a>
Torres Quevedo	Planta 1	TQ Comedor		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.00.260">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.00.260</a>
Torres Quevedo	Planta 1	TQ Aula 16		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.01.330">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.01.330</a>
Torres Quevedo	Planta 1	TQ Aula 19		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.01.120">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.01.120</a>
Torres Quevedo	Planta 2	TQ Aula 26		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.02.020">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.02.020</a>
Torres Quevedo	Planta 2	TQ Aula 25	lht65-827293	sensecap-0000bd	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.02.030">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.02.030</a>
Torres Quevedo	Planta 2	TQ Aula Taller	lht65-8272e6	sensecap-0000d0	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.02.870">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.02.870</a>
Torres Quevedo	Planta 2	TQ Aula 21	lht65-8272ac	sensecap-0000d9	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.02.070">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.02.070</a>
Torres Quevedo	Planta 2	TQ Sala 5 Ordenadores	lht65-8272de	sensecap-000202	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.02.194">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.02.194</a>
Torres Quevedo	Planta 2	TQ Sala 3 Ordenadores		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.02.190">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.02.190</a>
Torres Quevedo	Planta 2	TQ Sala 4 Ordenadores		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.02.190">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.02.190</a>
Torres Quevedo	Planta 2	TQ Aula 20 B		sensecap-00028c	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.02.080">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1065.02.080</a>

## Edificio Agustín Betancourt

Edificio	Planta	ESPACIO (ID en ThingsBoard)	ID SENSOR Humedad, Tª y Luminosidad	ID SENSOR CO2	LINK SIGUE-UZ
Betancourt	Planta 0	Bet Aula 0.01		pax-co2-018	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.00.450">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.00.450</a>
Betancourt	Planta 0	Bet Aula 0.02		pax-co2-011	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.00.440">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.00.440</a>
Betancourt	Planta 0	Bet Aula 0.03		pax-co2-012	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.00.430">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.00.430</a>
Betancourt	Planta 0	Bet Aula 0.04		pax-co2-009	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.00.420">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.00.420</a>
Betancourt	Planta 0	Bet Cafetería		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.00.270">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.00.270</a>
Betancourt	Planta 0	Bet Salón Actos	lht65-82729b	sensecap-0001ed	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.00.460">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.00.460</a>
Betancourt	Planta 0	Bet Sala Estudios Tomás Pollán	lht65-8272a6	sensecap-0000a0	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.00.400">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.00.400</a>
Betancourt	Planta 0	Bet Sala Ordenadores (nueva)	lht65-827265	sensecap-0001c8	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.00.190">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.00.190</a>
Betancourt	Planta 1	Bet Aula 1.01	lht65-827251	sensecap-0001f2	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.01.310">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.01.310</a>
Betancourt	Planta 1	Bet Aula 1.02		pax-co2-014	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.01.300">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.01.300</a>
Betancourt	Planta 1	Bet Aula 1.03		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.01.290">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.01.290</a>
Betancourt	Planta 1	Bet Aula 1.04		pax-co2-015	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.01.280">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.01.280</a>
Betancourt	Planta 1	Bet Aula 1.06		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.01.260">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.01.260</a>
Betancourt	Planta 1	Bet D01.690	lht65-8272e9	sensecap-0000be	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.01.690">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.01.690</a>
Betancourt	Planta 2	Bet Aula 2.01		pax-co2-016	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.02.250">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.02.250</a>
Betancourt	Planta 2	Bet Aula 2.02	lht65-827287	sensecap-000196	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.02.240">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.02.240</a>
Betancourt	Planta 2	Bet Aula 2.03		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.02.230">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.02.230</a>
Betancourt	Planta 2	Bet Aula 2.04		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.02.220">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.02.220</a>
Betancourt	Planta 2	Bet Aula 2.05		aranet-	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.02.210">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.02.210</a>
Betancourt	Planta 2	Bet Aula 2.07	lht65-8272b5	sensecap-0001b1	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.02.190">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.02.190</a>
Betancourt	Planta 2	Bet Pasillo P2	lht65-82723c	sensecap-0001b5	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.02.010">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.02.010</a>
Betancourt	Planta 3	Bet Aula 3.07		pax-co2-010	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.03.100">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.03.100</a>
Betancourt	Planta 3	Bet Aula 3.08		pax-co2-017	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.03.090">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.03.090</a>
Betancourt	Planta 3	Bet Aula 3.08	lht65-82728c	sensecap-0001f1	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.03.090">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.03.090</a>
Betancourt	Planta 3	Bet Aula 3.09		pax-co2-013	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.03.080">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1201.03.080</a>

## Instituto I+D

Edificio	Planta	ESPACIO (ID en ThingsBoard)	ID SENSOR Humedad, Tª y Luminosidad	ID SENSOR CO2	LINK SIGUE-UZ
Institutos I+D	Planta 2	I3A Lab 62.040		sensecap-00008f	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1209.02.A30">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1209.02.A30</a>
Institutos I+D	Planta 2	I3A Sala 5.2.04A (descanso)		sensecap-0001c8	<a href="https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1209.02.830">https://siguez.unizar.es/?room=CRE.1209.02.830</a>

ANEXO XIV. Hoja Excel donde se registran todas las incidencias de los equipos de medida de CO<sub>2</sub> instalados en el campus de la EINA.

*Edificio Ada Byron*

TIPO	Sensor	Edificio	Planta	Espacio	21/09/2021 - Revisión página web (Jorge)
aranet	aranet-	Ada Byron	Planta 0	Ada Cafetería	Pendiente de instalar el nuevo sensor
sensecap	sensecap-000020	Ada Byron	Planta 0	Ada Lab 05.b	Valores de CO2 por encima de 1000ppm. El comportamiento monótono en la gráfica
sensecap	sensecap-000073	Ada Byron	Planta 0	Ada Aula A.6	Niveles de CO2 por debajo de 300ppm
diis-co2	diis-co2-001	Ada Byron	Planta 0	Ada Lab0.01	OK. Correcto
diis-co2	diis-co2-002	Ada Byron	Planta 0	Ada Lab0.02	Valores de temperatura muy elevada (34°)
diis-co2	diis-co2-004	Ada Byron	Planta 0	Ada Lab0.04	OK. Correcto
diis-co2	diis-co2-005	Ada Byron	Planta 0	Ada Lab0.05a	OK. Correcto
diis-co2	diis-co2-007	Ada Byron	Planta 0	Ada Lab0.05b	
diis-co2	diis-co2-006	Ada Byron	Planta 0	Ada Lab0.06	Valores de temperatura muy elevada (36°)
aranet	aranet-	Ada Byron	Planta 0	Ada Aula A.1	Pendiente de instalar el nuevo sensor
sensecap	sensecap-000279	Ada Byron	Planta 1	Ada Salón Actos	Valores de CO2 fuera de los límites coherentes. Debe repararse
sensecap	sensecap-0000c0	Ada Byron	Planta 1	Ada Pasillo P1	OK. Correcto
diis-co2	diis-co2-008	Ada Byron	Planta 1	Ada Lab0.1.02	Valores de temperatura muy elevada (36°)
aranet	aranet-	Ada Byron	Planta 2	Ada Aula A.21	Pendiente de instalar el nuevo sensor
aranet	aranet-	Ada Byron	Planta 2	Ada Aula A.23	Pendiente de instalar el nuevo sensor
aranet	aranet-	Ada Byron	Planta 2	Ada Aula A.24	Pendiente de instalar el nuevo sensor
aranet	aranet-	Ada Byron	Planta 2	Ada Aula A.25	Pendiente de instalar el nuevo sensor
sensecap	sensecap-0001d5	Ada Byron	Planta 2	Ada Sala Estudios	OK. Correcto
sensecap	sensecap-000013	Ada Byron	Planta 2	Ada Aula A.22	OK. Correcto
diis-co2	diis-co2-003	Ada Byron	Planta 3	Ada Lab0.03	OK. Correcto
sensecap	sensecap-0001f0	Ada Byron	Planta 4	Ada Lab 4.02	OK. Correcto

*Edificio Betancourt*

TIPO	Sensor	Edificio	Planta	Espacio	21/09/2021 - Revisión página web (Jorge)
aranet	aranet-	Ada Byron	Planta 4	Ada Lab 4.03	Pendiente de instalar el nuevo sensor
pax-co2	pax-co2-008	Torres Quevedo	Planta 0	TQ Secretaría EINA	OK. Correcto
sensecap	sensecap-000003	Torres Quevedo	Planta 0	TQ Sala Estudios	Niveles de CO2 por debajo de 300ppm
aranet	aranet-	Torres Quevedo	Planta 0	TQ Sala 1 Ordenadores	Pendiente de instalar el nuevo sensor
sensecap	sensecap-00000d	Torres Quevedo	Planta 1	TQ Aula 17	Valores de CO2 fuera de los límites coherentes. Debe repararse
aranet	aranet-	Torres Quevedo	Planta 1	TQ Comedor	Pendiente de instalar el nuevo sensor
aranet	aranet-	Torres Quevedo	Planta 1	TQ Aula 16	Pendiente de instalar el nuevo sensor
aranet	aranet-	Torres Quevedo	Planta 1	TQ Aula 19	Pendiente de instalar el nuevo sensor
aranet	aranet-	Torres Quevedo	Planta 2	TQ Aula 26	Pendiente de instalar el nuevo sensor
sensecap	sensecap-0000bd	Torres Quevedo	Planta 2	TQ Aula 25	Valores de CO2 fuera de los límites coherentes. Debe repararse
sensecap	sensecap-0000d0	Torres Quevedo	Planta 2	TQ Aula Taller	Valores de CO2 fuera de los límites coherentes. Debe repararse
sensecap	sensecap-0000d9	Torres Quevedo	Planta 2	TQ Aula 21	Valores de CO2 fuera de los límites coherentes. Debe repararse
sensecap	sensecap-000202	Torres Quevedo	Planta 2	TQ Sala 5 Ordenadores	Valores de CO2 fuera de los límites coherentes. Debe repararse
aranet	aranet-	Torres Quevedo	Planta 2	TQ Sala 3 Ordenadores	Pendiente de instalar el nuevo sensor
aranet	aranet-	Torres Quevedo	Planta 2	TQ Sala 4 Ordenadores	Pendiente de instalar el nuevo sensor

## Edificio Agustín Betancourt

TIPO	Sensor	Edificio	Planta	Espacio	21/09/2021 - Revisión página web (Jorge)
pax-co2	pax-co2-018	Betancourt	Planta 0	Bet Aula 0.01	OK. Correcto
pax-co2	pax-co2-011	Betancourt	Planta 0	Bet Aula 0.02	OK. Correcto
pax-co2	pax-co2-012	Betancourt	Planta 0	Bet Aula 0.03	OK. Correcto
pax-co2	pax-co2-009	Betancourt	Planta 0	Bet Aula 0.04	OK. Correcto
aranet	aranet-	Betancourt	Planta 0	Bet Cafetería	Pendiente de instalar el nuevo sensor
sensecap	sensecap-0001ed	Betancourt	Planta 0	Bet Salón Actos	Valores de CO2 fuera de los límites coherentes. Debe repararse
sensecap	sensecap-0000a0	Betancourt	Planta 0	Bet Sala Estudios Tomás Pollán	Valores de CO2 fuera de los límites coherentes. Debe repararse
sensecap	sensecap-0001c8	Betancourt	Planta 0	Bet Sala Ordenadores (nueva)	Niveles de CO2 por debajo de 300ppm
sensecap	sensecap-0001f2	Betancourt	Planta 1	Bet Aula 1.01	Valores de CO2 fuera de los límites coherentes. Debe repararse
pax-co2	pax-co2-014	Betancourt	Planta 1	Bet Aula 1.02	OK. Correcto
aranet	aranet-	Betancourt	Planta 1	Bet Aula 1.03	Pendiente de instalar el nuevo sensor
pax-co2	pax-co2-015	Betancourt	Planta 1	Bet Aula 1.04	Valores de CO2 muy elevados. Recomendar revisión
aranet	aranet-	Betancourt	Planta 1	Bet Aula 1.06	Pendiente de instalar el nuevo sensor
sensecap	sensecap-0000be	Betancourt	Planta 1	Bet D01.690	OK. Correcto
pax-co2	pax-co2-016	Betancourt	Planta 2	Bet Aula 2.01	OK. Correcto
sensecap	sensecap-000196	Betancourt	Planta 2	Bet Aula 2.02	OK. Correcto
aranet	aranet-	Betancourt	Planta 2	Bet Aula 2.03	Pendiente de instalar el nuevo sensor
aranet	aranet-	Betancourt	Planta 2	Bet Aula 2.04	Pendiente de instalar el nuevo sensor
aranet	aranet-	Betancourt	Planta 2	Bet Aula 2.05	Pendiente de instalar el nuevo sensor
sensecap	sensecap-0001b1	Betancourt	Planta 2	Bet Aula 2.07	Niveles de CO2 altos pero parece funcionar adecuadamente
sensecap	sensecap-0001b5	Betancourt	Planta 2	Bet Pasillo P2	OK. Correcto
pax-co2	pax-co2-010	Betancourt	Planta 3	Bet Aula 3.07	Valores de CO2 muy elevados. Recomendar revisión
pax-co2	pax-co2-017	Betancourt	Planta 3	Bet Aula 3.08	OK. Correcto ¿cuántos sensores hay en el mismo aula?
sensecap	sensecap-0001f1	Betancourt	Planta 3	Bet Aula 3.08	OK. Correcto ¿cuántos sensores hay en el mismo aula?
pax-co2	pax-co2-013	Betancourt	Planta 3	Bet Aula 3.09	OK. Correcto

## Instituto I+D

TIPO	Sensor	Edificio	Planta	Espacio	21/09/2021 - Revisión página web (Jorge)
sensecap	sensecap-00008f	Institutos I+D	Planta 2	I3A Lab 62.040	Niveles de CO2 por debajo de 300ppm
sensecap	sensecap-0001c8	Institutos I+D	Planta 2	I3A Sala 5.2.04A (descanso)	Valores de CO2 fuera de los límites coherentes. Debe repararse





Proyecto Nr.: PRY\_1489\_21  
 Dibujo: CL-01-OLD  
 Posición: CL-01-OLD  
 Responsable:  
 Pieza: 6  
 Fecha: 15/09/2021  
 Página: 2 / 8

## Aire de impulsión

### Definición de la unidad

Presión externa [Pa]	500	Espesor	Minerawool 50	45,0 mm	Largo [mm]	5.900,0
Presión total [Pa]	1.451	Panel interno	Galvanizado	0,50 mm	Ancho [mm]	3.150,0
Class DIN EN 13053	V3	Panel externo	Galvanizado pintado White	1,00 mm	Altura [mm]	1.840,0
Ext. leakage -400 Pa (RU-EN 1886) [%] L3(R)		Panel interno (suelo)	Galvanizado	1,00 mm	Peso [kg]	-3.573,0
Ext. leakage +400 Pa (RU-EN 1886) [%] L3(R)		Perfiles	Aluminio			
Max. Fuga interna [%]	0,10	Mat. Interior	Galvanizado			
Construcción de la unidad P 150-45						

Filtro	Aire de impulsión	750,0 mm	10,23 m2	352,00 kg	133 Pa
Fabricante	Camfil	Longitud del filtro [mm]	48,0		
Tipo	ECOPLEAT-M5-48	Superficie de filtro [m2]	66,00		
Clase	M5	Celdas Pzs x Tamaño	10 x 592,0 x 592,0		
PdC Limpio [Pa]	74		5 x 592,0 x 292,0		
PdC Diseño [Pa]	124				
PdC Sucio [Pa]	174				
Caudal [m³/h]	36.000				
Clasif. energética de filtro					
Filter class (EN-16890)	ePM10 60%				
Puerta con bisagras y cierres		Dimensiones [mm]	650,0 x 1.740,0		
Compuerta		Dimensiones [mm]	3.050,0 x 1.000,0 x 135,0		
Accionamiento por	Eje libre	Marco	Aluminio		
Cld. Cierres	1	Velocidad del aire [m/s]	3,28	Lamas	Aluminio
Torque [Nm]	14,950	Pérdida de carga [Pa]	9	Tipo	Class 3 - A1
Toma de medición			1	Set	



Proyecto Nr.: PRY\_1489\_21  
 Dibujo: CL-01-OLD  
 Posición: CL-01-OLD  
 Responsable:  
 Pieza: 6  
 Fecha: 15/09/2021  
 Página: 3 / 8

Recuperador de placas - Diagonal		Aire de impulsión		1.700,0 mm	23,22 m <sup>2</sup>	929,00 kg	357 Pa
Modelo		FE AL 08 N 1520 C 1 AE SM X2					
Modo de calentamiento				Modo de enfriamiento			
Impulsión [m <sup>3</sup> /h]	36.000	Dp [Pa]	314	Impulsión [m <sup>3</sup> /h]	36.000	Dp [Pa]	357
Entrada [°C]	-3,00	Humed. [%]	89,0	Entrada [°C]	36,20	Humed. [%]	28,4
Salida [°C]	9,50	Humed. [%]	36,0	Salida [°C]	30,60	Humed. [%]	39,0
Extracción [m <sup>3</sup> /h]	27.300	Dp [Pa]	205	Extracción [m <sup>3</sup> /h]	27.300	Dp [Pa]	216
Entrada [°C]	21,00	Humed. [%]	50,0	Entrada [°C]	24,00	Humed. [%]	50,0
Salida [°C]	8,20	Humed. [%]	94,0	Salida [°C]	31,40	Humed. [%]	32,0
Capacidad [kW]	150,63			Capacidad [kW]	67,67		
Acua condensada [kg/h]	45,25						
Ef. en Temp. Flujo seco balanceado [%]	52,40	Número de int.	1				
Ef. en Temperatura. EN 308 [%]	52,40	Bypass	Sin				
Ef. en Temp. Seco (Calor) [%]	60,7	Temp. de congelación [°C]	0,00				
Ef. en Temp. Humedo (Calor) [%]	68,7	Clase energética	H4				
Ef. en Temp. Seco (Frio) [%]	60,7	Material exchanger	AL				
Ef. en Temp. Húmedo (Frio) [%]	60,7						
Bandeja de condensados		Calidad Galvanizado		Conexión de drenaje		1 0/0°	
Los módulos de dimensión superior a 2500 mm serán suministrados en varias secciones							

Enfriamiento		Aire de impulsión		905,0 mm	9,03 m <sup>2</sup>	670,00 kg	197 Pa
H2O / Glicol							
Caudal [m <sup>3</sup> /h]	36.000			Fluido	Agua		
Velocidad del aire [m/s]	2,29			Caudal de fluido [l/s]	13,4300		
Aire de entrada [°C]	30,60	Humedad [%]	39,0	Velocidad del fluido [m/s]	1,03		
Aire de salida [°C]	12,98	Humedad [%]	92,5	Fluido de entrada [°C]	7,00		
Capacidad total [kW]	281,90			Fluido de salida [°C]	12,00		
Capacidad sensible [kW]	214,24			Pérdida de carga del fluido [kPa]	22,59		
Perda de pres.del aire [Pa]	197	Seco [Pa]	138	Volumen Int. [l]	186,000		
				SHR	0,76		
Cu-Al-FeZn P40AR 7R-39T-2800A-2.0pa 68C 4* (.11- .4- 2)		Materiales:					
Filas	7			Aletas	Aluminio		
Circuitos	68			Filas	Cobre		
Separación de aletas [mm]	2,00			Colector	Cobre		
Conexión entrada	DN 100			Marco	Galvanizado		
Conexión salida	DN 100			Protección de la aleta	-		
Bandeja de condensados		Calidad		Acero inoxidable 304		Conexión de drenaje 1 0/0°	




Proyecto Nr.: PRY\_1489\_21  
 Dibujo: CL-01-OLD  
 Posición: CL-01-OLD  
 Responsable:  
 Pieza: 6  
 Fecha: 15/09/2021  
 Página: 4 / 8

Calentamiento	Aire de impulsión	495,0 mm	4,94 m2	420,00 kg	58 Pa
<b>H2O / Glicol</b>					
Caudal [m³/h]	36.000	Fluido	Agua		
Velocidad del aire [m/s]	2,30	Caudal de fluido [l/s]	13,7900		
Aire de entrada [°C]	9,50	Velocidad del fluido [m/s]	1,10		
Aire de salida [°C]	33,00	Fluido de entrada [°C]	45,00		
Potencia [kW]	285,45	Fluido de salida [°C]	40,00		
		Pérdida de carga del fluido [kPa]	11,42		
Perda de pres.del aire [Pa]	58	Volumen Int. [l]	131,600		
Cu-Al-FeZn P60AC 5R-26T-2785A-2.0pa 65C 2x4* (.11-.4-1.5)		Materiales:			
Filas	5	Circuitos	65		
Separación de aletas [mm]	2,00	Aletas	Aluminio		
Conexión entrada	DN 100	Filas	Cobre		
Conexión salida	DN 100	Colector	Cobre		
Posición de la conexión	Straight, standard		Marco	Galvanizado	
Número de int. AN/Anch	1 / 1		Protección de la aleta	-	
Bandeja de condensados	Calidad	Acero inoxidable 304	Conexión de drenaje	1 Ø0"	



Proyecto Nr.: PRY\_1489\_21  
 Dibujo: CL-01-OLD  
 Posición: CL-01-OLD  
 Responsable:  
 Pieza: 6  
 Fecha: 15/09/2021  
 Página: 5 / 8

Ventilador accionado por poleas	Aire de impulsión	2.050,0 mm	25,24 m <sup>2</sup>	1.202,00 kg	206 Pa					
<b>INFORMACIÓN DEL VENTIL</b>			<b>INFORMACIÓN DE MOTOR</b>							
Ventilador	1xRDH 800 K	Motor	1xM3BP180MLB3GBP-4							
Proveedor	Nicotra/Gebhardt	Protección	IP55							
Caudal [m <sup>3</sup> /h]	36.000	Clase de aislamiento	F							
Internal pressure [Pa]	745	Potencia [kW]	22,000							
Presión adicional [Pa]	104	RPM [1/min]	1.480							
Presión externa [Pa]	500	Corriente +-5% [A]	41,50							
Presión dinámica [Pa]	102	Tensión	3x400 V / 50 Hz / D							
Presión estática total	1245	Eficiencia	93,3							
Presión total [Pa]	1.451	El efecto del sistema está considerado en el rendimiento del ventilador								
RPM [1/m]	1.186									
Eficiencia del ventilador [%]	82									
Potencia en el eje [kW]	1x17,700									
<b>INFORMACIÓN DEL SISTEM</b>										
Potencia absorbida (Selección) [kW]	20,180	Ventilador con pol	SPB250	Conector	3020-50					
Potencia específica (Selección) [w/(m <sup>3</sup> /s)]	2.018 SFP4	Polea del motor	SPB200	Conector	2517-48					
Potencia absorbida (Validación) [kW]	18,060	Correa [mm]	3 x 2.650,0							
Potencia específica (Validación) [w/(m <sup>3</sup> /s)]	1.806 SFP4	Distancia del eje [	972,0							
										
Banda de octavas. Nivel de potencia sonora [dB]										
Frc. Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Aspiración	93,0	92,0	96,0	89,0	85,0	82,0	76,0	72,0		
Salida	95,0	94,0	95,0	93,0	90,0	84,0	77,0	72,0		
Potencia sonora [dB(A)]	94,6									
Puerta con bisagras y cierres						Dimensiones [mm]		600,0 x 1.740,0		
Compuerta						Dimensiones [mm]		1.007,0 x 1.007,0 x 135,0		
Accionamiento por	Eje libre					Marco		Aluminio		
Ctd. Cierres	1					Lamas		Aluminio		
Torque [Nm]	5,040					Tipo		Class 3 - Al		
Velocidad del aire [m/s]						9,86				
Pérdida de carga [Pa]										
Mirilla						Circular		Diámetro [mm]		218,0

Cálculo del nivel sonoro										
Potencia sonora [dB]										
Frc. Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Suma [dB(A)]	
Aspiración	93,0	88,0	79,0	72,0	66,0	58,0	46,0	46,0	76,4	
Salida	95,0	94	95	93,0	90,0	84,0	77,0	72,0	94,6	
Carcasa	87,0	77,0	74,0	64,0	61,0	59,0	53,0	40,0	69,9	
Nivel de presión sonora [dB]										
Frc. Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Suma [dB(A)]	Punto de medición 2 m Distancia
Aspiración	79,0	74,0	65,0	58,0	52,0	44,0	32,0	32,0	62,4	
Salida	81,0	80,0	81,0	79,0	76,0	70,0	63,0	58,0	80,6	
Carcasa	73,0	63,0	60,0	50,0	47,0	45,0	39,0	26,0	55,9	
Tolerancia +/- 4 dB										



Proyecto Nr.: PRY\_1489\_21  
 Dibujo: CL-01-OLD  
 Posición: CL-01-OLD  
 Responsable:  
 Pieza: 6  
 Fecha: 15/09/2021  
 Página: 6 / 8

## Aire de extracción

### Definición de la unidad

Presión externa [Pa]	500	Espesor	Mineralwool 50	45,0 mm	Largo [mm]	4.380,0
Presión total [Pa]	943	Panel interno	Galvanizado	0,50 mm	Ancho [mm]	3.150,0
Class DIN EN 13053	V1	Panel externo	Galvanizado pintado White	1,00 mm	Altura [mm]	1.840,0
Ext. leakage -400 Pa (RU-EN 1886) [%] L3(R)		Panel interno (suelo)	Galvanizado	1,00 mm	Peso [kg]	-1.351,0
Ext. leakage +400 Pa (RU-EN 1886) [%] L3(R)		Perfiles	Aluminio			
Max. Fuga interna [%]	0,10	Mat. Interior	Galvanizado			
Construcción de la unidad P 150-45						

Filtro	Aire de extracción	750,0 mm	10,23 m2	253,00 kg	108 Pa
Fabricante	Camfil	Longitud del filtro [mm]		48,0	
Tipo	ECOPLEAT-M5-48	Superficie de filtro [m2]		66,00	
Clase	M5	Celdas Pzs x Tamaño		10 x 592,0x 592,0 5 x 592,0x 292,0	
PdC Limpio [Pa]	58				
PdC Diseño [Pa]	108				
PdC Sucio [Pa]	158				
Caudal [m³/h]	27.300				
Clasif. energética de filtro					
Filter class (EN-16890)	ePM10 60%				
Puerta extraíble		Dimensiones [mm]		650,0 x 1.740,0	
Toma de medición		1 Set			
Recuperador de placas - Diagonal	Aire de extracción	1.700,0 mm	23,22 m2	929,00 kg	357 Pa



Proyecto Nr.: PRY\_1489\_21  
 Dibujo: CL-01-OLD  
 Posición: CL-01-OLD  
 Responsable:  
 Pieza: 6  
 Fecha: 15/09/2021  
 Página: 7 / 8

Ventilador accionado por poleas	Aire de extracción	1.930,0 mm	24,04 m <sup>2</sup>	1.098,00 kg	119 Pa				
<b>INFORMACIÓN DEL VENTIL</b>			<b>INFORMACIÓN DE MOTOR</b>						
Ventilador	1xRDH 800 K	Motor	1xM3BP160MLA3GBP-4						
Proveedor	Nicotra/Gebhardt	Protección	IP55						
Caudal [m <sup>3</sup> /h]	27.300	Clase de aislamiento	F						
Internal pressure [Pa]	324	Potencia [kW]	11,000						
Presión adicional [Pa]	61	RPM [1/min]	1.473						
Presión externa [Pa]	500	Corriente +-5% [A]	20,40						
Presión dinámica [Pa]	58	Tensión	3x400 V / 50 Hz / D						
Presión estática total	824	Eficiencia	92,2						
Presión total [Pa]	943								
RPM [1/m]	949								
Eficiencia del ventilador [%]	81								
Potencia en el eje [kW]	1x8,810		El efecto del sistema está considerado en el rendimiento del ventilador						
<b>INFORMACIÓN DEL SISTEM</b>									
Potencia absorbida (Selección) [kW]	10,390	Ventilador con pol	SPZ160	Conector	2517-50				
Potencia específica (Selección) [w/(m <sup>3</sup> /s)]	1.370 SFP3	Polea del motor	SPZ100	Conector	2012-42				
Potencia absorbida (Validación) [kW]	9,730	Correa [mm]	5 x 2.360,0						
Potencia específica (Validación) [w/(m <sup>3</sup> /s)]	1.283 SFP3	Distancia del eje [	975,0						
Banda de octavas. Nivel de potencia sonora [dB]									
Frc. Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Aspiración	89,0	90,0	89,0	83,0	80,0	76,0	70,0	66,0	
Salida	90,0	90,0	90,0	88,0	83,0	77,0	71,0	66,0	
Potencia sonora [dB(A)]	88,8								
Puerta con bisagras y cierres						Dimensiones [mm]		600,0 x 1.740,0	
Compuerta						Dimensiones [mm]		1.007,0 x 1.007,0 x 135,0	
Accionamiento por	Eje libre				Marco		Aluminio		
Ctd. Cierres	1				Lamas		Aluminio		
Torque [Nm]	5,040				Tipo		Class 3 - AI		
Velocidad del aire [m/s] 7,48				Pérdida de carga [Pa]					
Mirilla						Diámetro [mm]		218,0	



Cálculo del nivel sonoro										
Potencia sonora [dB]										
Frc. Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Suma [dB(A)]	
Aspiración	89,0	86,0	72,0	68,0	65,0	58,0	42,0	44,0	73,2	
Salida	90,0	90	90	88,0	83,0	77,0	71,0	66,0	88,8	
Carcasa	82,0	73,0	68,0	59,0	54,0	52,0	47,0	34,0	64,2	
Nivel de presión sonora [dB]										
Frc. Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Suma [dB(A)]	Punto de medición 2 m Distancia
Aspiración	75,0	72,0	58,0	54,0	51,0	44,0	28,0	30,0	59,2	
Salida	76,0	76,0	76,0	74,0	69,0	63,0	57,0	52,0	74,8	
Carcasa	68,0	59,0	54,0	45,0	40,0	38,0	33,0	20,0	50,2	
Tolerancia +/- 4 dB										



ANEXO XVI. Simulación de la propuesta de mejora de la UTA por EVAIR.

	Propuesta	PRY_1489_21	
	Fecha	09/09/2021	
	Proyecto	UTA CLASES BETANCOURT	
<b>Evaír</b> <b>Technical-Commercial Department</b> Buenos Aires, 8 ES 50198 La Muela (Zaragoza) Tel.: +34 976 909 868	Posición	CL-01-NEW CON VENTILADORES NUEVOS	Versión de Soft. 3.20.200 Version Date: 17.05.2021 www.evaír.es Info@evaír.es
	LV-Posición	CL-01-NEW	
	Cantidad	1	
	Fecha de impr	15/09/2021	
	Colaborador		
	Oficina / Conta		

**INFORMACIÓN GENERAL**

Serie **SMART**

**CARACTERÍSTICAS MB (EN-1886)**

Resist. mecánica (-1000/+1000 Pa) **D2/D2(M)**  
 Estanqueidad (-400/+700 Pa) **L1/L1(M)**  
 Derivación en filtros **F9**  
 Transmitancia térmica **T2**  
 Puente térmico **TB4**



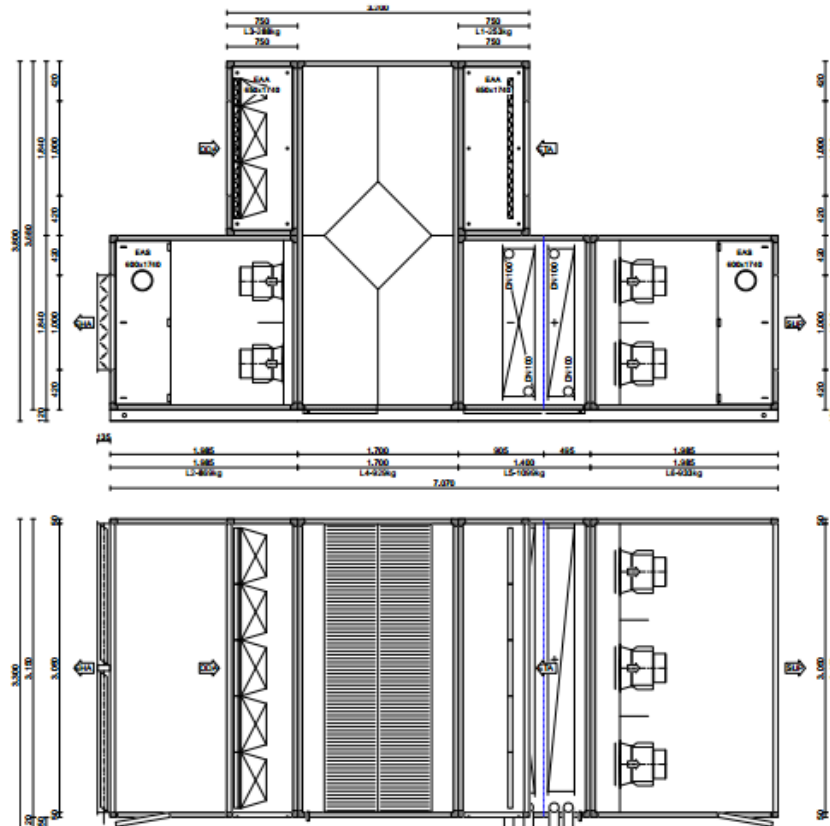
Densidad del aire [kg/m³] **1,20**  
 SFPint (Vent. Comp.) [w/(m³/s)] **1.115**  
 Peso total [kg] **~4.372**  
 Temp. de diseño exterior (invierno) [°C] **-3,00**  
 Ratio de mezcla (RCA/SUP)  
 Unidad (Reglamento UE 1253/2014) **NRVU;BVU**  
 Tipo de accionamiento **Variable Speed**  
 Max. SFP int. [w/(m³/s)] **800**  
 Min. Thermal efficiency [%] **73**  
 Min./Max. Temperatura-Humedad Relativa [°C-%] **-20-0/40-50**  
 Specific fan power rating, SFPv [w/(m³/s)] **3.180**



Modelo	Caudal [m³/h]	Velocidad Air [m/s]	Presión Externa [Pa]	Pot. Abs. [kW]	Ef. Estática (Sistema)* [%]	Config. Base Pérd. de carga * [Pa]
Impulsión SMART 9.6	38.000	1,99	500	22,920	65,8	426
Retorno SMART 9.6	28.880	1,51	500	10,960	63,24	296

\* Según Configuración Base. (Reg. 1253/2014)

\*\*Energy label class designed for wet conditions.



La pérdida de carga de filtros en este informe se fija según norma UNE 13053. La pérdida de carga final (mostrada) ha de ser respetada para asegurar el rendimiento y la eficiencia energética de la unidad.




Proyecto Nr.: **PRY\_1489\_21**  
 Dibujo: **CL-01-NEW**  
 Posición: **CL-01-NEW**  
 Responsable:  
 Pieza: **6**  
 Fecha: **15/09/2021**  
 Página: **2 / 8**

## Aire de impulsión

### Definición de la unidad

Presión externa [Pa]	<b>500</b>	Espesor	<b>Mineralwool 50</b>	<b>45,0 mm</b>	Largo [mm]	<b>5.835,0</b>
Presión total [Pa]	<b>1.429</b>	Panel interno	<b>Galvanizado</b>	<b>0,50 mm</b>	Ancho [mm]	<b>3.150,0</b>
Class DIN EN 13053	<b>V3</b>	Panel externo	<b>Galvanizado pintado</b>	<b>White 1,00 mm</b>	Altura [mm]	<b>1.840,0</b>
Ext. leakage -400 Pa (RU-EN 1886) [%]	<b>L3(R)</b>	Panel interno (suelo)	<b>Galvanizado</b>	<b>1,00 mm</b>	Peso [kg]	<b>-3.249,0</b>
Ext. leakage +400 Pa (RU-EN 1886) [%]	<b>L3(R)</b>	Perfiles	<b>Aluminio</b>			
Max. Fuga interna [%]	<b>0,10</b>	Mat. Interior	<b>Galvanizado</b>			
Construcción de la unidad <b>P 150-45</b>						

Filtro bolsas con pre-filtro		Aire de impulsión	<b>750,0 mm</b>	<b>10,23 m2</b>	<b>288,00 kg</b>	<b>270 Pa</b>
Fabricante	<b>Camfil</b>	Longitud del filtro [mm]	<b>48,0</b>			
Tipo	<b>ECOPLEAT-M6-48</b>	Superficie de filtro [m2]	<b>75,00</b>			
Clase	<b>M6</b>	Celdas Pzs x Tamaño	<b>10 x 592,0x 592,0</b>			
PdC Limpio [Pa]	<b>89</b>		<b>5 x 592,0x 292,0</b>			
PdC Diseño [Pa]	<b>139</b>					
PdC Sucio [Pa]	<b>189</b>					
Caudal [m³/h]	<b>38.000</b>					
Clasif. energética de filtro						
Filter class (EN-16890)	<b>ePM10 70%</b>					
		Fabricante	<b>Camfil</b>		Longitud del filtro [mm]	<b>292,0</b>
		Tipo	<b>OPACKFIL-F8-296</b>		Superficie de filtro [m2]	<b>225,00</b>
		Clase	<b>F8</b>		Celdas Pzs x Tamaño	<b>10 x 592,0 x 592,0</b>
		PdC Limpio [Pa]	<b>81</b>			<b>5 x 592,0 x 292,0</b>
		PdC Diseño [Pa]	<b>131</b>			
		PdC Sucio [Pa]	<b>181</b>			
		Caudal [m³/h]	<b>38.000</b>			
		Extracción de filtro	<b>Lateral</b>			
Clasif. energética de filtro	<b>A+</b>					
Filter class (EN-16890)	<b>ePM1 70%</b>					
Puerta extraíble			Dimensiones [mm]		<b>650,0 x 1.740,0</b>	



Proyecto Nr.: **PRY\_1489\_21**  
 Dibujo: **CL-01-NEW**  
 Posición: **CL-01-NEW**  
 Responsable:  
 Pieza: **6**  
 Fecha: **15/09/2021**  
 Página: **3 / 8**

Recuperador de placas - Diagonal		Aire de impulsión		<b>1.700,0 mm</b>	<b>23,22 m2</b>	<b>929,00 kg</b>	<b>392 Pa</b>
Modelo	<b>FE AL 08 N 1520 C 1 AE SM X2</b>						
Modo de calentamiento		Modo de enfriamiento					
Impulsión [m³/h]	<b>38.000</b>	Dp [Pa]	<b>345</b>	Impulsión [m³/h]	<b>38.000</b>	Dp [Pa]	<b>392</b>
Entrada [°C]	<b>-3,00</b>	Humed. [%]	<b>89,0</b>	Entrada [°C]	<b>36,20</b>	Humed. [%]	<b>28,4</b>
Salida [°C]	<b>9,40</b>	Humed. [%]	<b>36,0</b>	Salida [°C]	<b>30,60</b>	Humed. [%]	<b>39,0</b>
Extracción [m³/h]	<b>28.880</b>	Dp [Pa]	<b>226</b>	Extracción [m³/h]	<b>28.880</b>	Dp [Pa]	<b>238</b>
Entrada [°C]	<b>21,00</b>	Humed. [%]	<b>50,0</b>	Entrada [°C]	<b>24,00</b>	Humed. [%]	<b>50,0</b>
Salida [°C]	<b>8,30</b>	Humed. [%]	<b>94,0</b>	Salida [°C]	<b>31,30</b>	Humed. [%]	<b>32,0</b>
Capacidad [kW]	<b>158,05</b>	Capacidad [kW]		<b>70,99</b>			
Acua condensada [kg/h]	<b>47,30</b>						
Ef. en Temp. Flujo seco balanceado [	<b>52,10</b>	Número de int.	<b>1</b>				
Ef. en Temperatura. EN 308 [%]	<b>52,10</b>	Bypass	<b>Sin</b>				
Ef. en Temp. Seco (Calor) [%]	<b>60,2</b>	Temp. de congelación [°C]	<b>0,00</b>				
Ef. en Temp. Húmedo (Calor) [%]	<b>68,1</b>	Clase energética	<b>H4</b>				
Ef. en Temp. Seco (Frio) [%]	<b>60,2</b>	Material exchanger	<b>AL</b>				
Ef. en Temp. Húmedo (Frio) [%]	<b>60,2</b>						
Bandeja de condensados	Calidad		<b>Galvanizado</b>	Conexión de drenaje		<b>1 0/0"</b>	
Los módulos de dimensión superior a 2500 mm serán suministrados en varias secciones							

Enfriamiento		Aire de impulsión		<b>905,0 mm</b>	<b>9,03 m2</b>	<b>642,00 kg</b>	<b>166 Pa</b>
<b>H2O / Glicol</b>							
Caudal [m³/h]	<b>38.000</b>			Fluido	<b>Agua</b>		
Velocidad del aire [m/s]	<b>2,42</b>			Caudal de fluido [l/s]	<b>13,4300</b>		
Aire de entrada [°C]	<b>30,60</b>	Humedad [%]	<b>39,0</b>	Velocidad del fluido [m/s]	<b>1,03</b>		
Aire de salida [°C]	<b>13,36</b>	Humedad [%]	<b>93,7</b>	Fluido de entrada [°C]	<b>7,00</b>		
Capacidad total [kW]	<b>281,90</b>			Fluido de salida [°C]	<b>12,00</b>		
Capacidad sensible [kW]	<b>222,70</b>			Pérdida de carga del fluido [kPa]	<b>22,59</b>		
Perda de pres.del aire [Pa]	<b>166</b>	Seco [Pa]	<b>119</b>	Volumen Int. [l]	<b>186,000</b>		
				SHR	<b>0,79</b>		
Cu-Al-FeZn P40AR 7R-39T-2800A-2.5pa 68C 4" ( .11- .4- 2)				Materiales:			
Filas	<b>7</b>			Aletas	<b>Aluminio</b>		
Circuitos	<b>68</b>			Filas	<b>Cobre</b>		
Separación de aletas [mm]	<b>2,50</b>			Colector	<b>Cobre</b>		
Conexión entrada	<b>DN 100</b>			Marco	<b>Galvanizado</b>		
Conexión salida	<b>DN 100</b>			Protección de la aleta	<b>-</b>		
Bandeja de condensados	Calidad		<b>Acero inoxidable 304</b>	Conexión de drenaje		<b>1 0/0"</b>	



Proyecto Nr.: **PRY\_1489\_21**  
 Dibujo: **CL-01-NEW**  
 Posición: **CL-01-NEW**  
 Responsable:  
 Pieza: **6**  
 Fecha: **15/09/2021**  
 Página: **4 / 8**

Calentamiento	Aire de impulsión	<b>495,0 mm</b>	<b>4,94 m2</b>	<b>457,00 kg</b>	<b>80 Pa</b>
<b>H2O / Glicol</b>					
Caudal [m³/h]	<b>38.000</b>	Fluido		<b>Agua</b>	
Velocidad del aire [m/s]	<b>2,43</b>	Caudal de fluido [l/s]		<b>14,5600</b>	
Aire de entrada [°C]	<b>9,50</b>	Humedad [%]	<b>36,0</b>	Velocidad del fluido [m/s]	
Aire de salida [°C]	<b>33,00</b>	Humedad [%]	<b>8,4</b>	<b>0,97</b>	
Potencia [kW]	<b>301,31</b>	Fluido de entrada [°C]		<b>45,00</b>	
Perda de pres.del aire [Pa]	<b>80</b>	Fluido de salida [°C]		<b>40,00</b>	
		Pérdida de carga del fluido [kPa]		<b>10,14</b>	
		Volumen Int. [l]		<b>146,600</b>	
Cu-Al-FeZn P60AC 6R-26T-2785A-2.0pa 78C 2x4* (.11- .4- 1.5)		Materiales:			
Filas	<b>6</b>	Circuitos	<b>78</b>	Aletas	<b>Aluminio</b>
Separación de aletas [mm]	<b>2,00</b>			Filas	<b>Cobre</b>
Conexión entrada	<b>DN 100</b>	Conexión salida	<b>DN 100</b>	Colector	<b>Cobre</b>
Posición de la conexión	<b>Straight, standard</b>		Marco	<b>Galvanizado</b>	
Número de int. AU/Anch	<b>1 / 1</b>		Protección de la aleta	<b>-</b>	
Bandeja de condensados	Calidad	<b>Acero inoxidable 304</b>	Conexión de drenaje	<b>1 0/0"</b>	



Proyecto Nr.: **PRY\_1489\_21**  
 Dibujo: **CL-01-NEW**  
 Posición: **CL-01-NEW**  
 Responsable:  
 Pieza: **6**  
 Fecha: **15/09/2021**  
 Página: **5 / 8**

Plugfan	Aire de impulsión	<b>1.985,0 mm</b>	<b>22,55 m2</b>	<b>933,00 kg</b>	<b>Pa</b>			
<b>INFORMACIÓN DEL VENTILADOR</b>			<b>INFORMACIÓN DE MOTOR</b>					
Ventilador	<b>6xGR45I-ZID.GG.CR</b>	Motor	<b>6xECblue-IE5-50-152-0-5</b>					
Proveedor	<b>Ziehl-Abegg</b>	Protección	<b>IP55</b>					
Caudal [m³/h]	<b>38.000</b>	Clase de aislamiento	<b>F</b>					
Internal pressure [Pa]	<b>908</b>	Potencia [kW]	<b>6x5,000</b>					
Presión adicional [Pa]		RPM [1/min]	<b>2.620</b>					
Presión externa [Pa]	<b>500</b>	Corriente +-5% [A]	<b>6x6,08</b>					
Presión dinámica [Pa]	<b>21</b>	Eficiencia	<b>IE5</b>					
Presión estática total [Pa]	<b>1.408</b>	Tensión	<b>3x400 V / 50 Hz</b>					
Presión total [Pa]	<b>1.429</b>	Tipo de motor	<b>EC</b>					
RPM [1/min]	<b>2.406</b>							
El efecto del sistema está considerado en el rendimiento del ventilador								
<b>INFORMACIÓN DEL SISTEMA</b>			Señal de Control (0-10V)	<b>9,20</b>				
Potencia absorbida (Selección) [kW]	<b>22,920</b>		K factor	<b>220</b>				
Potencia específica (Selección) [w/(m3/s)]	<b>2.171</b>	<b>SFP4</b>						
Potencia absorbida (Validación) [kW]	<b>20,080</b>	<b>SFP4</b>						
Potencia específica (Validación) [w/(m3/s)]	<b>1.903</b>	<b>SFP4</b>						
Max. temperature increase [°C]	<b>1,54</b>							
<b>Nivel sonoro. Banda de octavas del ventilador Lw / dB</b>								
Ot. Frq. Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Aspiración	<b>74,0</b>	<b>84,0</b>	<b>85,0</b>	<b>79,0</b>	<b>74,0</b>	<b>74,0</b>	<b>69,0</b>	<b>66,0</b>
Salida	<b>79,0</b>	<b>90,0</b>	<b>91,0</b>	<b>86,0</b>	<b>84,0</b>	<b>85,0</b>	<b>81,0</b>	<b>75,0</b>
Potencia sonora [dB (A)]	<b>90,8</b>							
Toma de presión en el oído	<b>1</b>	<b>Set</b>						
Pasacables	<b>1</b>	<b>Set</b>						
Toma de presión en el oído	<b>1</b>	<b>Set</b>						
Caja con PIAs para protección de fanwall 3-	<b>1</b>	<b>Set</b>						
Caja de bornas para conexión de motores EC	<b>1</b>	<b>Set</b>						
Puerta con bisagras y cierres	Dimensiones [mm]		<b>600,0 x 1.740,0</b>					
Mirilla	<b>Circular</b>	Diámetro [mm]		<b>218,0</b>				



Proyecto Nr.: **PRY\_1489\_21**  
 Dibujo: **CL-01-NEW**  
 Posición: **CL-01-NEW**  
 Responsable:  
 Pieza: **6**  
 Fecha: **15/09/2021**  
 Página: **6 / 8**

#### Cálculo del nivel sonoro

Potencia sonora [dB]									
Frc. Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Suma [dB(A)]
Aspiración	81,8	88,8	82,8	75,8	66,8	62,8	57,8	55,8	78,6
Salida	86,8	97,8	98,8	93,8	91,8	92,8	88,8	82,8	98,7
Carcasa	78,8	80,8	76,8	64,8	62,8	67,8	64,8	50,8	74,0

Nivel de presión sonora [dB]												
Frc. Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Suma [dB(A)]	Punto de medición	2 m	Distancia
Aspiración	67,8	74,8	68,8	61,8	52,8	48,8	43,8	41,8	64,6			
Salida	72,8	83,8	84,8	79,8	77,8	78,8	74,8	68,8	84,7			
Carcasa	64,8	66,8	62,8	50,8	48,8	53,8	50,8	36,8	60,0			

Tolerancia +/- 4 dB

### Aire de extracción

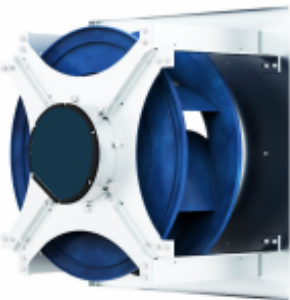
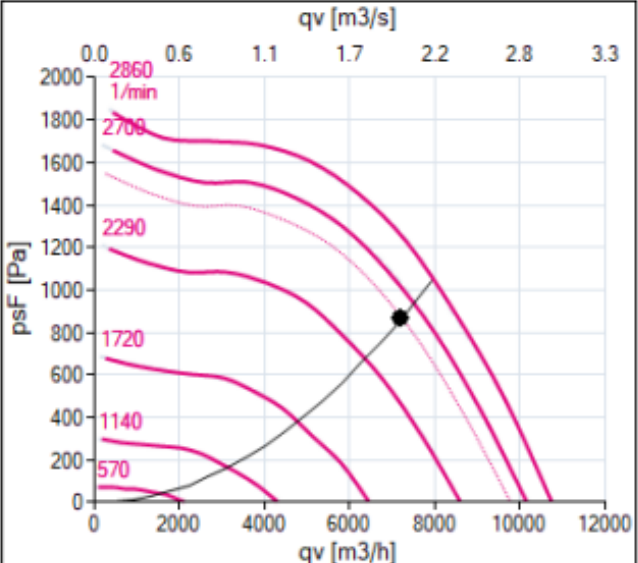
#### Definición de la unidad

Presión externa [Pa]	500	Espesor	Mineralwool 50	45,0 mm	Largo [mm]	4.435,0
Presión total [Pa]	907	Panel interno	Galvanizado	0,50 mm	Ancho [mm]	3.150,0
Class DIN EN 13053	V1	Panel externo	Galvanizado pintado White	1,00 mm	Altura [mm]	1.840,0
Ext. leakage -400 Pa (RU-EN 1886) [%] L3(R)		Panel interno (suelo)	Galvanizado	1,00 mm	Peso [kg]	~1.122,0
Ext. leakage +400 Pa (RU-EN 1886) [%] L3(R)		Perfiles	Aluminio			
Max. Fuga interna [%]	0,10	Mat. Interior	Galvanizado			
Construcción de la unidad <b>P 150-45</b>						

Filtro	Aire de extracción	750,0 mm	10,23 m2	253,00 kg	120 Pa
Fabricante	Camfil	Longitud del filtro [mm]		48,0	
Tipo	ECOPLEAT-M6-48	Superficie de filtro [m2]		75,00	
Clase	M6	Celdas Pzs x Tamaño		10 x 592,0x 592,0	
PdC Limpio [Pa]	70			5 x 592,0x 292,0	
PdC Diseño [Pa]	120				
PdC Sucio [Pa]	170				
Caudal [m³/h]	28.880				
Clasif. energética de filtro					
Filter class (EN-16890)	ePM10 70%				
Puerta extraíble		Dimensiones [mm]		650,0 x 1.740,0	
Toma de medición		1 Set			
Recuperador de placas - Diagonal	Aire de extracción	1.700,0 mm	23,22 m2	929,00 kg	392 Pa



Proyecto Nr.: PRY\_1489\_21  
 Dibujo: CL-01-NEW  
 Posición: CL-01-NEW  
 Responsable:  
 Pieza: 6  
 Fecha: 15/09/2021  
 Página: 7 / 8

Plugfan	Aire de extracción	1.985,0 mm	22,55 m <sup>2</sup>	869,00 kg	6 Pa																																				
<b>INFORMACIÓN DEL VENTILADOR</b>			<b>INFORMACIÓN DE MOTOR</b>																																						
Ventilador	4xGR40I-ZID.GG.CR	Motor	4xECblue-IE5-50-152-0-3.																																						
Proveedor	Ziehl-Abegg	Protección	IP55																																						
Caudal [m <sup>3</sup> /h]	28.880	Clase de aislamiento	F																																						
Internal pressure [Pa]	364	Potencia [kW]	4x3,700																																						
Presión adicional [Pa]		RPM [1/min]	2.860																																						
Presión externa [Pa]	500	Corriente +5% [A]	4x4,37																																						
Presión dinámica [Pa]	43	Eficiencia	IE5																																						
Presión estática total [Pa]	864	Tensión	3x400 V / 50 Hz																																						
Presión total [Pa]	907	Tipo de motor	EC																																						
RPM [1/min]	2.595																																								
El efecto del sistema está considerado en el rendimiento del ventilador																																									
<b>INFORMACIÓN DEL SISTEMA</b>			Señal de Control (0-10V)	9,10																																					
Potencia absorbida (Selección) [kW]	10,960		K factor	180																																					
Potencia específica (Selección) [w/(m <sup>3</sup> /s)]	1.366	SFP3																																							
Potencia absorbida (Validación) [kW]	10,250																																								
Potencia específica (Validación) [w/(m <sup>3</sup> /s)]	1.277	SFP3																																							
Max. temperature increase [°C]	0,97																																								
																																									
Nivel sonoro. Banda de octavas del ventilador Lw / dB <table border="1"> <tr> <td>Ot. Frq. Hz</td> <td>63</td> <td>125</td> <td>250</td> <td>500</td> <td>1000</td> <td>2000</td> <td>4000</td> <td>8000</td> </tr> <tr> <td>Aspiración</td> <td>79,0</td> <td>77,0</td> <td>82,0</td> <td>78,0</td> <td>72,0</td> <td>73,0</td> <td>68,0</td> <td>74,0</td> </tr> <tr> <td>Salida</td> <td>81,0</td> <td>81,0</td> <td>87,0</td> <td>85,0</td> <td>84,0</td> <td>87,0</td> <td>82,0</td> <td>81,0</td> </tr> <tr> <td>Potencia sonora [dB (A)]</td> <td colspan="8">91,5</td> </tr> </table>			Ot. Frq. Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Aspiración	79,0	77,0	82,0	78,0	72,0	73,0	68,0	74,0	Salida	81,0	81,0	87,0	85,0	84,0	87,0	82,0	81,0	Potencia sonora [dB (A)]	91,5										
Ot. Frq. Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000																																	
Aspiración	79,0	77,0	82,0	78,0	72,0	73,0	68,0	74,0																																	
Salida	81,0	81,0	87,0	85,0	84,0	87,0	82,0	81,0																																	
Potencia sonora [dB (A)]	91,5																																								
Toma de presión en el oído	1	Set																																							
Pasacables	1	Set																																							
Toma de presión en el oído	1	Set																																							
Caja con PIAs para protección de fanwall 3-	1	Set																																							
Caja de bornas para conexión de motores EC	1	Set																																							
Puerta con bisagras y cierres	Dimensiones [mm]		600,0 x 1.740,0																																						
Compuerta	Dimensiones [mm]		3.050,0 x 1.000,0 x 135,0																																						
Accionamiento por	Eje libre	Marco	Aluminio																																						
Ctd. Cierres	1	Lamas	Aluminio																																						
Torque [Nm]	14,950	Tipo	Class 3 - AI																																						
	Velocidad del aire [m/s]	2,63																																							
	Pérdida de carga [Pa]	6																																							
Minilla	Circular	Diámetro [mm]	218,0																																						



Proyecto Nr.: **PRY\_1489\_21**  
 Dibujo: **CL-01-NEW**  
 Posición: **CL-01-NEW**  
 Responsable:  
 Pieza: **6**  
 Fecha: **15/09/2021**  
 Página: **8 / 8**

**Cálculo del nivel sonoro**

Frc. Hz	Potencia sonora [dB]								Suma [dB(A)]	Punto de medición	2 m	Distancia
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000				
Aspiración	85,0	79,0	71,0	69,0	63,0	61,0	46,0	58,0	70,9			
Salida	87,0	87	93	91,0	90,0	93,0	88,0	87,0	97,6			
Carcasa	79,0	70,0	71,0	62,0	61,0	68,0	64,0	55,0	72,0			
Frc. Hz	Nivel de presión sonora [dB]								Suma [dB(A)]	Punto de medición	2 m	Distancia
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000				
Aspiración	71,0	65,0	57,0	55,0	49,0	47,0	32,0	44,0	56,9			
Salida	73,0	73,0	79,0	77,0	76,0	79,0	74,0	73,0	83,6			
Carcasa	65,0	56,0	57,0	48,0	47,0	54,0	50,0	41,0	58,0			

Tolerancia +/- 4 dB

Bancada **0420** Material **Galvanizado** Aislado **No**  
 Agujeros [mm] **40,0** Altura [mm] **120,0** Soldado **No**

Interruptor de corte **1** Uni.

Los componentes que aparecen en este informe pueden ser reemplazados por marcas equivalentes en función del stock existente y el tiempo de entrega requeridos para esta unidad.

**Módulos para transporte**

	Nr	Ancho	Altura	Largo	Peso
A confirmar.	1	3.150,0	1.840,0	750,0	253,00
A confirmar.	2	3.150,0	1.840,0	1.985,0	869,00
A confirmar.	3	3.150,0	1.840,0	750,0	288,00
A confirmar.	4	3.150,0	3.680,0	1.700,0	929,00
A confirmar.	5	3.150,0	1.840,0	1.400,0	1.099,00
A confirmar.	6	3.150,0	1.840,0	1.985,0	933,00

## ANEXO XVII. Cuantificación económica de las pérdidas de energía eléctrica al ventilar de forma natural.

### Introducción

En este documento se trata de cuantificar cuanta energía se está perdiendo cuando se ventila de forma natural, es decir, abriendo ventanas y puertas. Para ello se ha tomado un aula TIPO 1, en concreto el aula 0.01. La tipología de aulas se puede identificar en el **anexo V**.

Del estudio que realizamos mi compañero Javier Baselga Casa y yo con la siembra de CO<sub>2</sub> sólido, se tiene el caudal de aire exterior que es capaz de suministrar la UTA de las aulas, 14.200 m<sup>3</sup>/h para todo el edificio. Si únicamente tenemos en cuenta el aula elegida, se está hablando de 540,73 m<sup>3</sup>/h.

La diferencia existente entre el caudal de aire exterior teórico que se necesita en el aula y el caudal que actualmente está aportando la UTA debe ser suministrado mediante la ventilación natural. De esta manera se está derrochando una gran cantidad de energía, ya que el aire que entra del exterior no se encuentra acondicionado térmicamente y no existe la posibilidad de aplicar una recuperación de calor. Además el aire que entra por las ventanas sin haber sido sometido a ningún proceso de filtrado puede introducir distintos contaminantes, haciendo que la IAQ del espacio disminuya.

### Estudio

Cuando se hace uso de la ventilación mecánica y se dispone de recuperadores de calor, la diferencia de temperatura entre el aire exterior y el aire de impulsión es mucho menor debido al intercambio térmico y por tanto la demanda de energía cae considerablemente. Si directamente se ventila abriendo ventanas, es decir, a través de ventilación natural, se está exigiendo un mayor trabajo en las bombas de calor dado que la diferencia térmica entre el flujo exterior e interior es mucho mayor al carecer de un recuperador de calor. Todo el aire que entra y sale por ventana no pasa por el recuperador. Cada ventana abierta es energía térmica que se escapa y que implica un mayor consumo eléctrico de las bombas de calor para compensar dichas pérdidas. Para cuantificar cuanta energía se podría ahorrar haciendo un uso exclusivo de la ventilación mecánica se va a cuantificar la cantidad de energía que se pierde ventilando de forma natural.

El aforo se parametriza para tres condiciones distintas; por un lado se toma un aforo reducido debido a la situación de pandemia que se está viviendo actualmente. En segundo lugar se fija un aforo normal. Por último, aunque es menos probable que suceda, se toma también el aforo máximo del aula.

Para calcular el caudal de aire exterior que necesitará el aula en cada situación, se emplea el ratio de 12,5 l/s·persona según estipula el RITE para un aula de enseñanza. [5]

	Aforo Covid	Aforo normal	Aforo máximo
<b>Capacidad (personas)</b>	36	55	132
<b>Caudal teórico necesario (l/s)</b>	450	688	1650

Tabla 97. Caudal teórico necesario del aula en función del aforo. Elaboración propia.

En el estudio se diferencia entre condiciones de verano y condiciones de invierno, de forma que para cada una de las situaciones se toman tres temperaturas exteriores distintas, una media,

una superior y otra inferior. La temperatura interior del aula siempre estará fija, en condiciones de verano serán 26 °C y en condiciones de invierno 21 °C.

Se ha tomado la hipótesis de que la humedad relativa exterior permanece de forma constante en un 32%. Y en el caso de la humedad relativa interior se ha fijado en torno a un 35%.

Para el cálculo de la potencia térmica que se perderá a través de la ventana se hace uso de las mismas expresiones y metodología que se ha utilizado en el **anexo XII** para estimar la demanda térmica debida a ventilación. En este cálculo se considera tanto el calor sensible como latente en caso de que exista una variación de humedad.

$$q \left( \frac{kg}{s} \right) \cdot \Delta h \left( \frac{kJ}{kg} \right) = \text{potencia térmica (kW)}$$

*Ecuación 11. Cálculo de la demanda térmica debida a ventilación.*

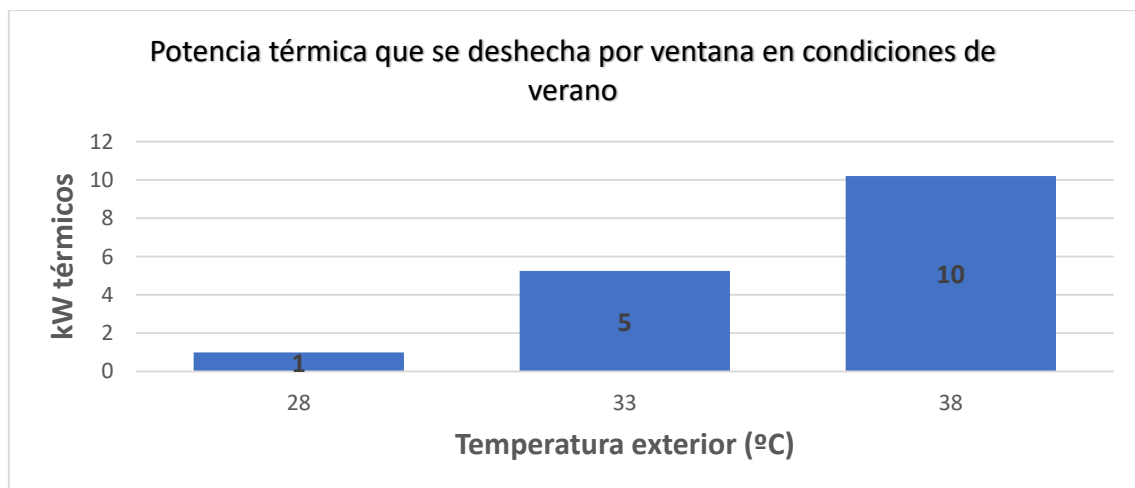
### Resultados

#### AFORO COVID

#### Condiciones de verano

<b>Temperatura exterior (°C)</b>	<b>28</b>	<b>33</b>	<b>38</b>
<b>Potencia térmica (kW)</b>	1	5	10

*Tabla 98. Potencia térmica perdida a través de las ventanas en condiciones de verano. Elaboración propia.*



*Tabla 99. Potencia térmica perdida a través de las ventanas para un aforo-covid condiciones de verano. Elaboración propia.*

**Condiciones de invierno**

<b>Temperatura exterior (°C)</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>12</b>
<b>Potencia térmica (kW)</b>	7	5	3

Tabla 100. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas en condiciones de invierno. Elaboración propia.

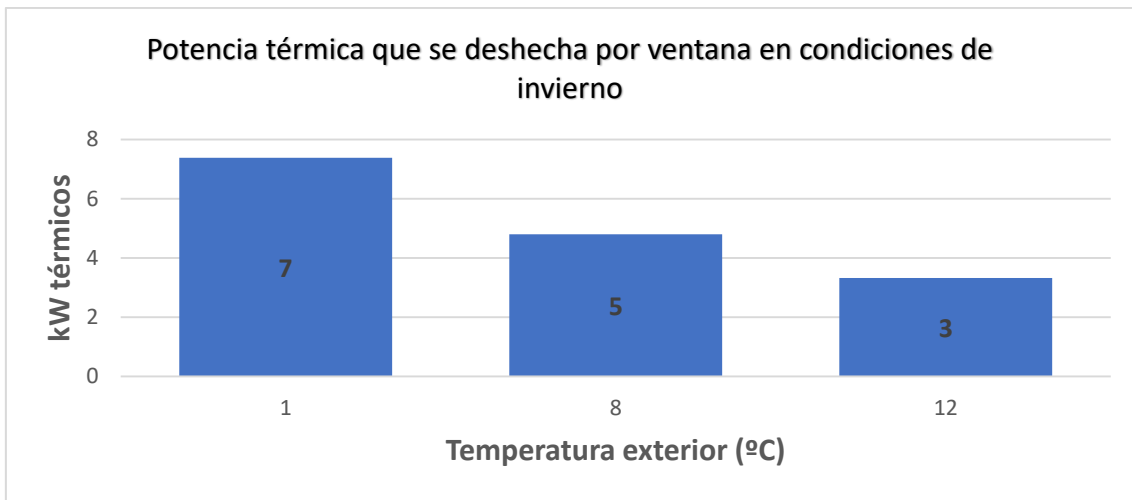


Tabla 101. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas para un aforo-covid condiciones de invierno. Elaboración propia.

**AFORO NORMAL**

**Condiciones de verano**

<b>Temperatura exterior (°C)</b>	<b>28</b>	<b>33</b>	<b>38</b>
<b>Potencia térmica (kW)</b>	2	9	18

Tabla 102. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas en condiciones de verano. Elaboración propia.

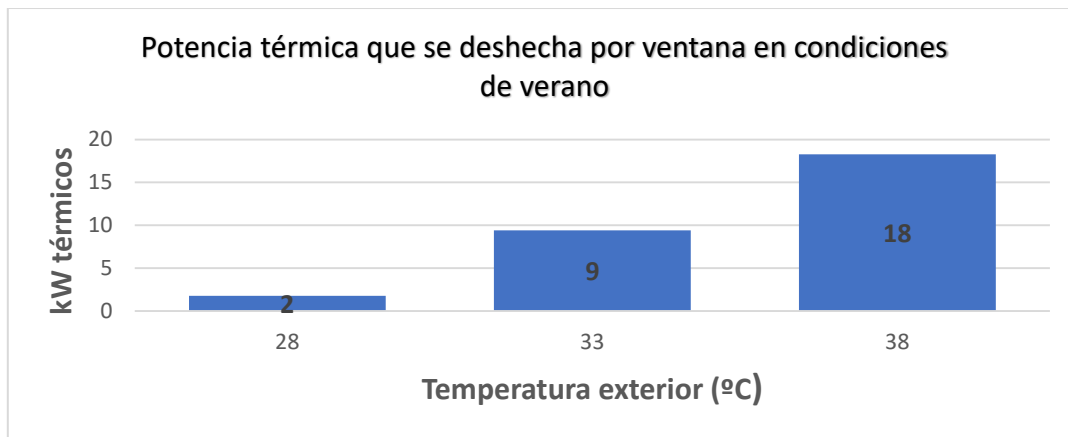


Tabla 103. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas para un aforo normal condiciones de verano. Elaboración propia.

### Condiciones de invierno

Temperatura exterior (°C)	1	8	12
Potencia térmica (kW)	13	9	6

Tabla 104. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas en condiciones de invierno. Elaboración propia.

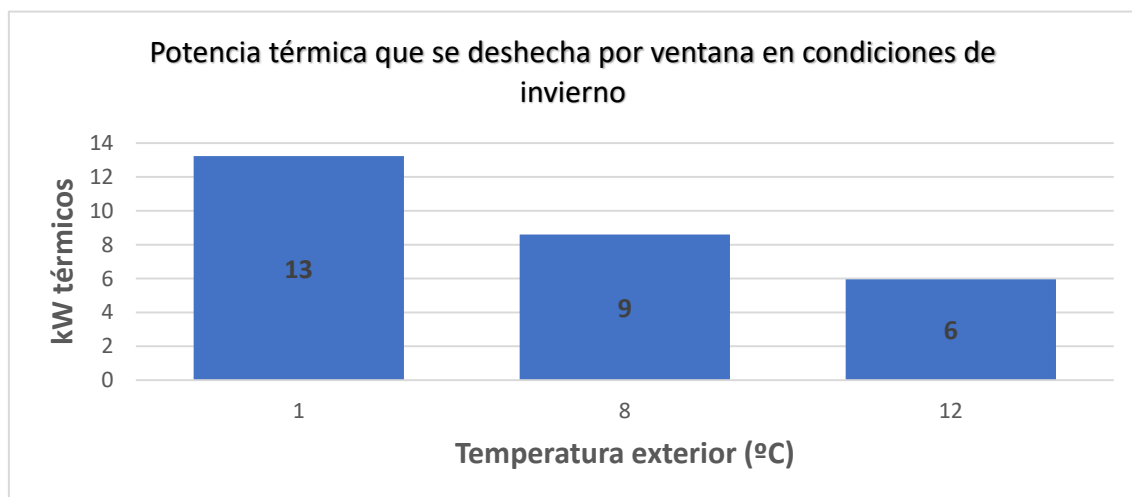


Tabla 105. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas para un aforo normal condiciones de invierno. Elaboración propia.

### AFORO MÁXIMO

#### Condiciones de verano

Temperatura exterior (°C)	28	33	38
Potencia térmica (kW)	5	26	51

Tabla 106. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas en condiciones de verano. Elaboración propia.

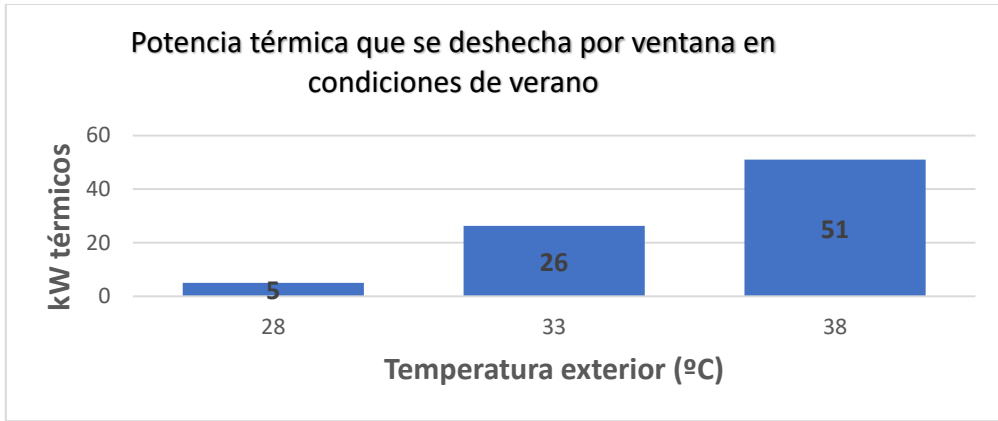


Tabla 107. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas para un aforo máximo condiciones de verano. Elaboración propia.

**Condiciones de invierno**

Temperatura exterior (°C)	1	8	12
Potencia térmica (kW)	37	24	17

Tabla 108. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas en condiciones de invierno. Elaboración propia.

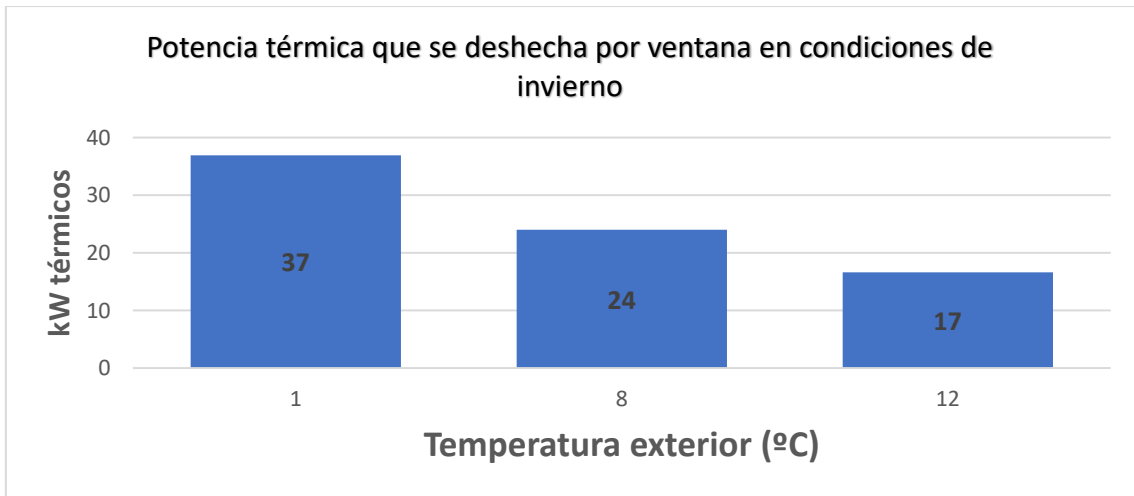


Tabla 109. Potencia térmica pérdida a través de las ventanas para un aforo máximo condiciones de invierno. Elaboración propia.

TABLA RESUMEN

**Verano**

Potencia térmica (kW)	Temperatura exterior (°C)		
	28	33	38
<b>Aforo covid</b>	1	5	10
<b>Aforo normal</b>	2	9	18
<b>Aforo máximo</b>	5	26	51

Tabla 110. Potencia térmica pérdida en condiciones de verano en función del aforo. Elaboración propia.

(W/m <sup>2</sup> )	Temperatura exterior (°C)		
	28	33	38
<b>Aforo covid</b>	7	35	68
<b>Aforo normal</b>	12	63	122
<b>Aforo máximo</b>	33	175	340

Tabla 111. Potencia térmica entre superficie del aula que se pierde en condiciones de verano. Elaboración propia.

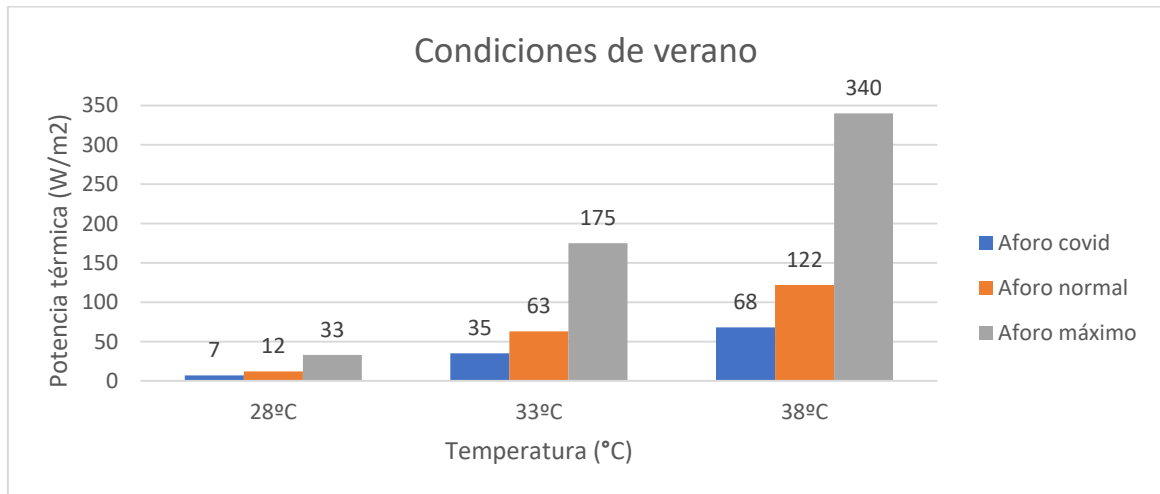


Tabla 112. Potencia térmica entre superficie pérdida en condiciones de verano en el aula 0.01. Elaboración propia.

**Invierno**

Potencia térmica (kW)	Temperatura exterior (°C)		
	1	8	12
<b>Aforo covid</b>	7	5	3
<b>Aforo normal</b>	13	9	6
<b>Aforo máximo</b>	37	24	17

Tabla 113. Potencia térmica pérdida en condiciones de invierno en función del aforo. Elaboración propia.

(W/m <sup>2</sup> )	Temperatura exterior (°C)		
	1	8	12
<b>Aforo covid</b>	49	32	22
<b>Aforo normal</b>	88	57	40
<b>Aforo máximo</b>	246	160	111

Tabla 114. Potencia térmica entre superficie del aula que se pierde en condiciones de invierno. Elaboración propia.

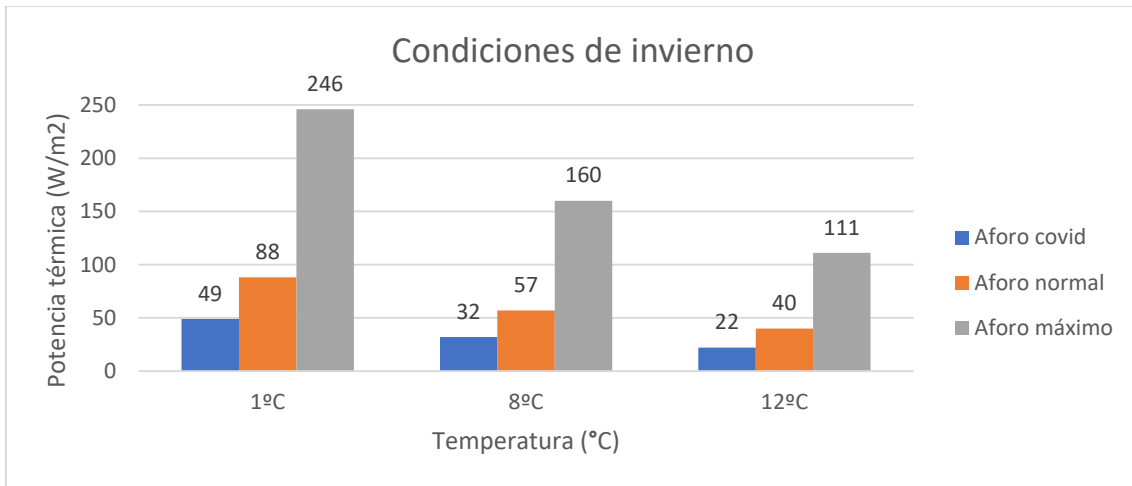


Tabla 115. Potencia térmica entre superficie pérdida en condiciones de invierno en el aula 0.01. Elaboración propia.

### Obtención de la potencia eléctrica

Hasta este momento se ha calculado la potencia térmica que se pierde cuando ventilamos de forma natural en el aula 0.01, pero se quiere obtener las pérdidas económicas que supone este derroche de energía. Para ello, es necesario que la potencia térmica se obtenga en términos de potencia eléctrica, esto se consigue haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$COP = \frac{Q \text{ (potencia térmica)}}{W \text{ (potencia eléctrica)}}$$

Ecuación 12. Coeficiente de operatividad. Fuente: Libro de fundamentos de climatización.

En el edificio Agustín Betancourt la producción de refrigeración y calefacción se realiza a través de tres bombas de calor. Cada una de ellas consume 152 kW de potencia eléctrica y proporciona 706 kW de potencia calorífica y 553 kW de potencia frigorífica en condiciones nominales de operación. [53]

Estas bombas tienen un coeficiente de operación (COP) en condiciones de refrigeración en torno al 5,9. Pero este rendimiento es menor si se tiene en cuenta la potencia eléctrica total de la instalación, es decir, el consumo del circuito secundario. En este contexto el COP se reduce hasta tomar un valor de 3,75. [53]

Para las condiciones de calefacción, en el TFG de Santiago Palos se pueden encontrar distintas gráficas en las que se representa el rendimiento de distintos modelos de bombas de calor para varias aplicaciones y temperaturas. En el caso que nos ocupa, se toma un rendimiento en torno al 3,3 [54].

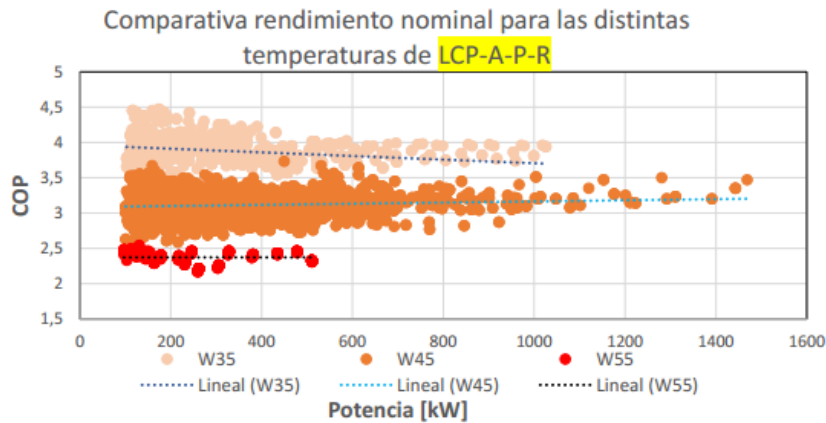


Tabla 116. Comparativa de rendimiento nominal para distintas aplicaciones en equipos aire/agua. Fuente: TFG Santiago Palos.

Se debe destacar que en este valor no se está teniendo en cuenta el consumo del circuito secundario como en las condiciones de verano. No se tienen datos certeros de la disminución que supone este consumo, por ello se va a estimar de manera aproximada en torno al 2,2. Se lleva a cabo una disminución proporcional a la que existe en las condiciones de refrigeración.

En este punto se está en condiciones de calcular la potencia eléctrica consumida por las bombas de calor para contrarrestar las pérdidas que se tienen al ventilar de forma natural. Antes de realizar dicho cálculo, se debe destacar que al inicio del presente estudio se ha parametrizado el aforo del aula en tres escenarios distintos. El aforo máximo es muy improbable que suceda. El aforo covid o reducido se ha implementado debido a la emergencia sanitaria actual debido al SARS-CoV-2 y es probable que una vez esté de vuelta la normalidad quede en desuso. Por tanto, se va a continuar realizando este cálculo únicamente con el aforo normal debido a que es la situación más común y que más se acerca a la realidad.

CONDICIONES DE INVIERNO

$$COP = 2,2 = \frac{\text{Potencia térmica (kW)}}{\text{Potencia eléctrica (kW)}}$$

Ecuación 13. Coeficiente de operación en modo invierno.

Temperatura exterior (°C)	28	33	38
Potencia térmica (kW)	13	9	6
Potencia eléctrica (kW)	5,9	4,1	2,7

Tabla 117. Potencia eléctrica a partir del COP de la bomba de calor en modo calefacción. Elaboración propia.

Se puede observar que este consumo eléctrico se mueve entre valores de 5,9 y 2,7 kW en función de la temperatura exterior. Como se trata de una estimación del consumo que se tiene durante el periodo en el que la instalación trabaja en modo calefacción, de aquí en adelante se toma el valor medio de estos dos, es decir, 4,3 kW.

CONDICIONES DE VERANO.

$$COP = 3,75 = \frac{\text{Potencia térmica (kW)}}{\text{Potencia eléctrica (kW)}}$$

Ecuación 14. Coeficiente de operación en modo verano.

Temperatura exterior (°C)	1	8	12
Potencia térmica (kW)	2	9	18
Potencia eléctrica (kW)	0,53	2,4	4,8

Tabla 118. Potencia eléctrica a partir del COP de la bomba de calor en modo refrigeración. Elaboración propia.

En este caso se tiene un consumo eléctrico entre 4,8 y 0,53 kW, dependiendo de la temperatura exterior. Se tomara el valor medio de este intervalo para los cálculos posteriores, 2,7 kW.

En resumen, para el aula 0.01 se estiman unas pérdidas de potencia eléctrica en modo refrigeración de 2,7 kW y en modo calefacción de 4,3 kW.

#### Cálculo de la energía eléctrica consumida

Con la intención de cuantificar económicamente dichas pérdidas se deben obtener las horas de funcionamiento del sistema de climatización para obtener la potencia calculada en términos de energía eléctrica desperdiciada.

En la página web de la Oficina Verde de la Universidad de Zaragoza aparecen los criterios que se toman para determinar los horarios de encendido de las instalaciones de frío y calor. En ella se cita que, el modo calefacción se establece en aquellos días que se dan las siguientes condiciones:

- Temperatura máxima exterior igual o inferior a 20°C.
- Temperatura mínima exterior igual o inferior a 13 °C. [50]

Para el encendido en modo refrigeración se establece en aquellos días cuando se dan las siguientes tres condiciones:

- Temperatura máxima exterior igual o superior a 28 °C.
- Temperatura mínima exterior igual o superior a 16 °C.
- Gradiente térmico igual o inferior a 20 °C. [50]

Teniendo en cuenta estos criterios, se estima que el número medio de horas al día que funciona el sistema de climatización son 5 horas. En este valor se tiene en cuenta aquellos días en los que no es necesario el encendido de la instalación por motivos de festivo (Navidad, Semana Santa...) o porque no se dan las condiciones idóneas. También se engloba en él aquellos días en los que el uso de la instalación tiene un mayor número de horas debido a las condiciones meteorológicas.

El curso dura desde Septiembre a Junio, son 10 meses de docencia. El resto del tiempo no se imparte clases de enseñanza en las aulas, por lo que la UTA que aporta aire exterior a las aulas estará apagada. Durante estos 10 meses se deben descontar los días de fin de semana. También se debe diferenciar entre el número de horas que la instalación funciona en modo calefacción y en modo refrigeración.

Se puede tomar como referencia, que el encendido de calefacción tiene lugar entre la última semana de octubre o el 1 de noviembre. Por otro lado, el modo refrigeración se enciende a lo largo de la última semana de mayo o el 1 de junio [50]. En el global son tres meses en el que el modo de refrigeración está encendido y siete meses del modo calefacción.

Conociendo estas hipótesis se tiene que el modo refrigeración estará en funcionamiento aproximadamente 300 horas y el modo calefacción unas 700 horas.

Calculo la energía total pérdida en el aula 0.01:

$$\text{Energía pérdida (calefacción)} = 4,3 \text{ (kW)} \cdot 700 \text{ (h)} = 5.110 \text{ kWh} = 5,1 \text{ MWh}$$

$$\text{Energía pérdida (refrigeración)} = 2,7 \text{ (kW)} \cdot 300 \text{ (h)} = 810 \text{ kWh}$$

$$\text{Energía total pérdida} = 5.110 \text{ kWh} + 810 \text{ kWh} = 5920 \text{ kWh} = 5,92 \text{ MWh}$$

*Ecuación 15. Energía total pérdida en el aula 0.01. Elaboración propia.*

En el aula 0.01 se estima que la energía desperdiciada al ventilar de forma natural es 5,92 MWh. Esto también puede verse como el consumo extra que tienen las bombas de calor para contrarrestar el efecto de abrir ventanas e intentar mantener en el espacio interior las condiciones de confort térmico adecuadas.

Este consumo de energía se ha calculado a partir de un aula, en concreto la 0.01, pero debe extrapolarse al resto de aulas del edificio. Para llevar a cabo esta extrapolación, multiplicaremos la energía eléctrica calculada para esta aula por un coeficiente obtenido en función de la superficie y aforo de las distintas tipologías de aulas respecto a la elegida inicialmente.

Aulas	Aulas Tipo	Número total de aulas semejantes	Superficie (m <sup>2</sup> )	Aforo (personas)	Coficiente
0.01/0.02/0.03/0.04 1.01/1.02/1.03/1.04 2.01/2.02/2.03/2.04	0.01	12	150	55	1
1.05/1.06/1.07/1.08/1.09 2.05/2.06/2.07/2.08/2.09	1.05	10	78	32	0,6
2.18/2.19/2.20/2.21	2.18	4	70,5	18	0,35
3.07/3.08/3.09	3.08	3	150	55	1

*Tabla 119. Coeficientes de extrapolación según la tipología del aula. Elaboración propia.*

Aulas	Aulas Tipo	Número total de aulas semejantes	Coficiente	Energía del aula (MWh)	Energía total según tipología (MWh)
0.01/0.02/0.03/0.04 1.01/1.02/1.03/1.04 2.01/2.02/2.03/2.04	0.01	12	1	5,92	71,04
1.05/1.06/1.07/1.08/1.09 2.05/2.06/2.07/2.08/2.09	1.05	10	0,6	3,552	35,52
2.18/2.19/2.20/2.21	2.18	4	0,35	2,072	8
3.07/3.08/3.09	3.08	3	1	5,92	17,76
					133

*Tabla 120. Energía eléctrica total consumida por las aulas del edificio Agustín Betancourt. Elaboración propia.*

Se obtiene una energía eléctrica total de 133 MWh para todas las aulas del edificio Agustín Betancourt. Este consumo se debe al esfuerzo realizado por las bombas de calor para compensar las pérdidas de energía térmica que se tienen al ventilar de forma natural.

### *Cuantificación económica de las pérdidas*

En el momento que se ha realizado el estudio, el precio de la energía eléctrica es muy variable día a día, con numerosas subidas y bajadas. Por ello se va a tomar un valor medio, pero también se aplicarán otros dos posibles valores de tal forma que pueda interpretarse la variabilidad

existente. En conclusión, se fija como valor de partida 16,4 cent€/kWh pero se toman otros dos valores donde se aplica un  $\pm 30\%$ .

**Precio de la energía eléctrica**

<b>Precio fijado</b>	16,4 cent€/kWh
<b>+30%</b>	21,32 cent€/kWh
<b>-30%</b>	11,48 cent€/kWh

*Tabla 121. Precio de la energía eléctrica. Elaboración propia.*

**Coste económico de la energía eléctrica pérdida**

<b>Precio fijado</b>	133 MWh	16,4 cent€/kWh	21.812 €
<b>+30%</b>	133 MWh	21,32 cent€/kWh	28.356 €
<b>-30%</b>	133 MWh	11,48 cent€/kWh	15.268 €

*Tabla 122. Coste económico de la energía pérdida para un precio variable. Elaboración propia.*

ANEXO XVIII. Presupuesto del proyecto de rehabilitación de la UTA de las aulas del edificio Agustín Betancourt propuesto por EVAIR.

DESCRIPCIÓN	PRECIO
Retrofit módulo de impulsión 38.000 m <sup>3</sup> /h, mediante colocación de fanwall en espacio vacío de climatizador forrado por diafragma para sujeción de ventiladores, 6 unidades en paralelo, marca Ziehl Abegg o equivalente EBM-Papst de las mismas prestaciones, modelo GR45I-ZID-CG-CR, totalmente cableados con tubín y toma de presión a controlador externo para mantener la presión o caudal constante (según modo de funcionamiento de climatizador). Incluye tomas de presión, pasacables, caja de conexiones PIA box para motor EC, protección fanwall, silenbloc, panel frontal de climatizador con puerta de bisagras y cierres, con mirilla, interruptor de corte (Potencia) ZBKPHFN4A3. Incluye todos los trabajos necesarios por parte de EVAIR para instalación del fanwall con todos los ventiladores dentro de la UTA, así como tubín, cableado a caja de bornas exterior y controlador. NO INCLUYE desmontaje y eliminación/reciclaje del ventilador antiguo, ni medios de elevación y transporte de componentes hasta el interior de la UTA. Tampoco incluye conexión a control y/o maniobra. MODELO IMP-PRY1489_21	16.776,00 €
Retrofit módulo de retorno 28880 m <sup>3</sup> /h, mediante colocación de fanwall en espacio vacío de climatizador forrado por diafragma para sujeción de ventiladores, 4 unidades en paralelo, marca Ziehl Abegg o equivalente EBM-Papst de las mismas prestaciones, modelo GR40I-ZID.GG.CR, totalmente cableados con tubín y toma de presión a controlador externo para mantener la presión o caudal constante (según modo de funcionamiento de climatizador). Incluye tomas de presión, pasacables, caja de conexiones PIA box para motor EC, protección fanwall, silenbloc, panel frontal de climatizador con puerta de bisagras y cierres, con mirilla, interruptor de corte (Potencia) 194E-Y40M-1753-6N. Incluye todos los trabajos necesarios por parte de EVAIR para instalación del fanwall con todos los ventiladores dentro de la UTA, así como tubín, cableado a caja de bornas exterior y controlador. NO INCLUYE desmontaje y eliminación/reciclaje del ventilador antiguo, ni medios de elevación y transporte de componentes hasta el interior de la UTA. Tampoco incluye conexión a control y/o maniobra. MODELO RET PRY_1489_RET	12.218,00 €
PRECIO NETO IVA NO INCLUIDO	28.994,00 €
VALIDEZ PRESUPUESTO 30 DIAS	
FORMA DE PAGO A CONFIRMAR	
MATERIAL PUESTO A PIE DE OBRA SOBRE CAMIÓN	
NO INCLUIDOS MEDIOS DE DESCARGA, ELEVACIÓN O TRANSPORTE.	